



**MARIANA NAYARA LIMA DA SILVEIRA**

**CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA *Cereus jamacaru, DC.*  
(MANDACARU) E SEU USO NA PRODUÇÃO DE BIO-  
CONCRETO**

**LAVRAS - MG  
2019**

**MARIANA NAYARA LIMA DA SILVEIRA**

**CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA *Cereus jamacaru*, DC. (MANDACARU) E SEU  
USO NA PRODUÇÃO DE BIO-CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Lavras como parte  
das exigências do Curso de Engenharia Civil,  
para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Saulo Rocha Ferreira  
Orientador

Me. M'hamed Yassin Rajiv da Gloria  
Coorientador

**LAVRAS - MG  
2019**

**MARIANA NAYARA LIMA DA SILVEIRA**


**CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA *Cereus jamacaru*, DC (MANDACARU) E SEU  
USO NA PRODUÇÃO DE BIO-CONCRETO**

**CARACTERIZATION OF *Cereus jamacaru*, DC. (MANDACARU) WOOD AND ITS  
USE IN BIO-CONCRETE PRODUCTION**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Lavras como parte  
das exigências do Curso de Engenharia Civil,  
para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 01 de Julho de 2019.  
Prof. Dr. Saulo Rocha Ferreira, UFLA  
Me. M'hamed Yassin Rajiv da Gloria, UFRJ  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Denzin Tonoli, UFLA

  
Prof. Dr. Saulo Rocha Ferreira  
Orientador

  
Me. M'hamed Yassin Rajiv da Gloria  
Coorientador

**LAVRAS - MG  
2019**

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e do entendimento.

Aos meus pais, pelos maiores e melhores ensinamentos e por tornarem esse sonho possível.

Aos meus irmãos, por serem exemplo e fonte de aconchego.

Ao meu namorado, pela compreensão, carinho e por ter estado sempre ao meu lado.

Aos meus avós, pelas orações.

A todos os professores, desde o ensino básico até a Engenharia Civil, por terem contribuído na minha formação acadêmica e pessoal.

Aos amigos que fiz durante a vida, por a tornarem mais bela, alegre e descontraída.

A todos aqueles que conheci durante a caminhada na Iniciação Científica, graduandos, mestrandos, doutorandos, pós-doutorandos, doutores e técnicos, e que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho.

Aos queridos, Luisa, Uasmin e Matheus, pela ajuda e pelo companheirismo. Nunca me esquecerei do “Grupo de Pesquisa da Madeira de Cacto”.

Ao meu coorientador e amigo, Yassin, pela paciência, pelos ensinamentos e por transmitir sempre boas energias.

Ao meu orientador e professor, Saulo, pelo incentivo, direcionamento, compreensão, confiança, pelas oportunidades e pela disposição em ajudar nos desafios encontrados durante a pesquisa.

Ao Programa de Bolsas Institucionais de Iniciação Científica da Universidade Federal de Lavras, pela bolsa de estudos.

Muito obrigada!

*“Toda a ciência começa como filosofia e termina em arte.” (Will Durant)*

Resumo geral do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à UFLA como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

## **CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DE MANDACARU (*Cereus jamacaru*, DC.) E SEU USO NA PRODUÇÃO DE BIO-CONCRETO**

**Mariana Nayara Lima da Silveira**

**Julho, 2019.**

### **RESUMO**

A indústria da construção civil provoca sérios prejuízos à natureza devido à grande extração de recursos naturais e minerais necessários para atender a demanda populacional, e a alta geração de resíduos. A busca por matérias-primas alternativas que sejam ambientalmente menos impactantes é, portanto, primordial. Nesse contexto, os Cactos, família *Cactaceae*, são uma boa possibilidade para alcançar as premissas do desenvolvimento sustentável. Além de serem renováveis, essas plantas crescem com facilidade, sendo extremamente adaptáveis aos mais diversos e rigorosos climas e solos inférteis. Atualmente, sua aplicação está voltada para a ornamentação, produção de cosméticos e alimentação animal. A espécie *Cereus jamacaru*, DC., conhecida popularmente como Mandacaru, possui uma estrutura lenhosa pouco conhecida e, conseqüentemente, pouco explorada industrialmente. Diante o exposto, visando a possibilidade de agregar valor ao material através do desenvolvimento de novas tecnologias, a presente pesquisa objetivou a caracterização do xilema secundário do Mandacaru além do desenvolvimento e caracterização de bio-concreto produzido com o mesmo. Os resultados serão apresentados em forma de dois artigos. Foram utilizadas técnicas de Microscopia Ótica e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para a caracterização morfológica. A quantificação da composição química foi obtida por análises normalizadas em laboratório (ABNT). Análise Termogravimétrica (TGA), Espectroscopia Raman, Espectroscopia Infravermelha com Transformada de Fourier (FTIR) e Difração de Raios-X (DRX) foram realizadas. A Resistência à Compressão Paralela às Fibras foi mensurada. Para produzir o bio-concreto, a madeira foi submetida a um tratamento de lavagens em água quente (80°C). *Flow table test* e testes de compressão uniaxial foram realizados. Os resultados indicam que a espécie possui alto teor de extrativos e cinzas e baixa densidade. A madeira apresentou resistência média de 34 MPa. Os bio-concretos produzidos podem ser classificados como leves e apresentam resultados promissores para o uso de *Cereus jamacaru*, DC. na indústria da construção civil.

**Palavras-chave:** Mandacaru. Madeira de cacto. Matérias-primas alternativas. Bio-concreto. Concreto leve.

General abstract of the Course Conclusion Work presented to UFLA as part of the Civil Engineering Course requirements, to obtain a Bachelor's degree.

## **CHARACTERIZATION OF *Cereus jamacaru*, DC. (MANDACARU) WOOD AND ITS USE IN BIO-CONCRETE PRODUCTION**

**Mariana Nayara Lima da Silveira**

**July, 2019.**

### **ABSTRACT**

The construction industry causes serious damage to nature due to the large extraction of natural and minerals resources needed to meet the population demand, and the high generation of waste. The search for alternative raw materials that are environmentally less impacting is, therefore, paramount. In this context, Cacti, family *Cactaceae*, are a good possibility to reach the premises of sustainable development. In addition to being renewable, these plants grow with ease, being extremely adaptable to the most diverse and rigorous climates and infertile soils. Currently, its application is focused on ornamentation, production of cosmetics and animal feed. The species *Cereus jamacaru*, DC., popularly known as Mandacaru, has a woody structure little known and, consequently, little industrially explored. In view of the above, intending at the possibility of adding value to that material through the development of new technologies, the present research aimed at the characterization of the Mandacaru secondary xylem besides the development and characterization of bio-concrete produced with it. The results will be presented in the form of two articles. Optical Microscopy and Scanning Electron Microscopy (SEM) techniques were used for morphological characterization. Quantification of the chemical composition was obtained by standard laboratory analysis (ABNT). Thermogravimetric Analysis (TGA), Raman Spectroscopy, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and X-ray Diffraction (XRD) were performed. Wood Compressive Strength was measured. To produce the bio-concrete, the wood was subjected to a wash treatment in hot water (80 °C). Flow table test and uniaxial compression tests were performed. The results indicate that the species has high extractive and ash content and low density. The wood presented average resistance of 34 MPa. The bio-concretes produced can be classified as lightweight and show promising results for *Cereus jamacaru*, DC. use in the construction industry.

**Keywords:** Mandacaru. Cactus wood. Alternative raw materials. Bio-concrete. Lightweight Concrete.

## SUMÁRIO

	<b>PRIMEIRA PARTE- INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>8</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>REFENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1</b>	<b>A espécie <i>Cereus jamacaru</i>, DC.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2</b>	<b>Concreto leve.....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>11</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>13</b>
	<b>SEGUNDA PARTE -ARTIGOS.....</b>	<b>16</b>
	<b>ARTIGO 1 – CHARACTERIZATION OF MANDACARU (<i>Cereus jamacaru</i>, DC.) WOOD AND ITS USE IN LIGHTWEIGHT BIO-CONCRETE PRODUCTION.....</b>	<b>16</b>
	<b>ARTIGO 2 – UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE CACTO <i>Cereus jamacaru</i> COMO AGREGADO NA PRODUÇÃO DE BIOCONCRETO LEVE.....</b>	<b>36</b>



## PRIMEIRA PARTE

### INTRODUÇÃO GERAL

#### 1 INTRODUÇÃO

O objetivo geral desse Trabalho de Conclusão de Curso foi caracterizar o xilema secundário da espécie *Cereus jamacaru*, DC., família *Cactaceae*, conhecida popularmente como Mandacaru, e avaliar a possibilidade de sua utilização no setor da construção civil como bio-agregado na produção de bio-concreto leve.

A finalidade do trabalho foi dar base científica às pesquisas futuras envolvendo essa matéria-prima alternativa através de uma caracterização aprofundada que aponte às possibilidades de sua utilização em aplicações industriais. Além disso, espera-se contribuir cientificamente com o desenvolvimento sustentável e com a valorização do material.

O presente Trabalho de Conclusão de Curso será apresentado no formato artigo tendo sido dividido em duas partes.

A primeira parte, nomeada de Introdução Geral, será composta por:

- i. Uma Introdução que explana sobre a organização e apresentação do trabalho bem como sobre o objetivo geral e a finalidade;
- ii. Um Referencial Teórico com elementos teóricos complementares aqueles já presentes na Introdução de cada um dos artigos;
- iii. Considerações Finais que contemplarão a visão da estudante e autora diante os resultados obtidos no trabalho bem como a contribuição do desenvolvimento do trabalho na aquisição de conhecimento acadêmico.

A segunda parte é composta por dois artigos. O primeiro é um artigo que será publicado na seção *Materials* da Revista MDPI. O seu foco é a caracterização química, morfológica, física e mecânica da madeira *Cereus jamacaru*, DC. O segundo artigo foi publicado nos Anais do 60º Congresso Brasileiro de Concreto – CBC2018- IBRACON- ISSN 2175-8182 e apresenta com grande detalhamento o desenvolvimento e a caracterização de bio-concreto leve produzido com madeira de cacto particulada como bio-agregado.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A espécie *Cereus jamacaru*, DC.

Segundo Barthlott e Hunt apud Davet (2005, p. 5) as Cactáceas, família *Cactaceae*, são dicotiledôneas suculentas. As espécies desta família são originárias de regiões de estresse hídrico e solos inférteis sendo principalmente conhecidas por suas estruturas e características peculiares de adaptação como os sistemas radiculares superficiais e extensos, alta relação volume/superfície e células parenquimáticas especializadas em armazenar água (COSTA, 1997)

O Gênero *Cereus* pertence à subfamília *Cactoideae*, grupo *Cereoideae*. O significado tanto em grego quanto em latim da palavra *Cereus* é “tocha”, e faz referência ao formato de candelabro dessas plantas. As espécies desse gênero possuem flores, frutos e espinhos semelhantes (BRITTON; ROSE, 1920).

O *Cereus jamacaru*, De Candolle, conhecido popularmente como Mandacaru, é endêmico do Brasil e abundante na região nordeste da costa ao interior, sendo encontrado na Bahia, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Alagoas e Sergipe, desde o nível do mar até 900 m de altitude. É invasor de áreas úmidas, e já foi encontrado em Santa Catarina e em São Paulo. A planta pode chegar a 10 metros de altura e pode fornecer madeira de até 30 centímetros de largura (SCHEINVAR, 1985; LIMA apud MATA, 2009, p 1).

Segundo Sales et al. (2014), essa espécie de cacto é uma das que tem maior importância econômica, medicinal e ambiental na região nordeste brasileira.

Durante a seca a planta torna-se alternativa alimentar e fonte de água para o gado. Além disso, seus frutos são consumidos *in natura* pela população e por espécies de pássaros (LIMA, 1998; ARAGÃO, 2000). Segundo Scheinvar (1985) seu cerne é utilizado como matéria-prima para a fabricação de portas e janelas. Há ainda registros de uso da espécie como “cerca viva” em substituição às contenções convencionais (HEWITT, 1993).

Segundo De Lucena (2012) algumas comunidades rurais na mesorregião do sertão utilizam a raiz para fabricação de colher de pau e ainda para o tratamento de doenças sendo que essa última finalidade também é descrita por Andrade et al. (2006b) e Lucena (2011).

Apesar dessa utilização para fins medicinais estar associada às crenças populares da região Davet et al. (2009), registraram propriedades antibacterianas no extrato de Mandacaru e concluíram que há perspectivas para a obtenção de antibióticos naturais.

Por fim, *Cereus jamacaru* é popularmente utilizada como bioindicadora de chuva (DE LUCENA, 2012; LUCENA et al., 2005).

Um aspecto interessante sobre a espécie é a facilidade de cultivo. Cavalcanti e Resende (2006) ressaltam que de uma única planta é possível retirar material para o cultivo de outras cem e as técnicas para o plantio e manejo são bastante simples favorecendo a implantação dos cultivos. Testes realizados no Campo Experimental da Caatinga, na Embrapa Semi-Árido, e em propriedades de agricultores mostraram que em um hectare de caatinga, no espaçamento de um metro por um metro, é possível cultivar cerca de dez mil plantas e colher 78 toneladas de matéria verde.

Diante o exposto fica claro que a madeira de cacto *Cereus jamacaru*, DC. é subutilizada industrialmente sendo que os usos da espécie acima expostos são populares e não contribuem para a valorização econômica da mesma.

O desenvolvimento de pesquisas para caracterização aprofundada do xilema secundário da espécie e que avaliem às possibilidades em aplicações tecnológicas poderá trazer vantagens econômicas e sociais. Além disso, uma vez que se trata de um recurso lignocelulósico renovável, a utilização em quaisquer aplicações será também ambientalmente favorável.

## 2.2 Concreto leve

De acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2006a), o concreto leve é definido como o concreto endurecido que, tendo sido seco em estufa, apresenta massa específica entre 800 e 2000 kg/m<sup>3</sup>.

Segundo Rossignolo e Agnesini (2005), existem três tipos de concreto leves: concreto sem finos, concreto com agregados leves e concreto aerado celular.

Eliminando as partículas mais finas da granulometria do agregado dá-se origem ao chamado *concreto sem finos*. Spratt citado por Garlet (1998, p. 36-38) afirma que o concreto

sem finos pode ser usado para a confecção de painéis divisórios, construção de estruturas de drenagem e como sub-base de quadras de esportes.

Substituindo o seixo ou a pedra britada por um agregado oco, celular ou poroso de baixa massa específica obtém-se um concreto cujo nome é o do *agregado leve* empregado. São muitas as aplicações dos concretos com agregados leves e Spratt citado por Garlet (1998, p. 36-38), cita três categorias como dominantes: Concretos estruturais, elementos de vedação e isolamento térmico.

Finalmente, introduzindo grandes quantidades de vazios no interior da massa de concreto produz-se o concreto *aerado celular*, com gás ou de espuma. Esse último, por sua vez, é principalmente empregado em processos construtivos baseados na montagem de elementos pré-moldados, como blocos, paredes de vedação e lajes (FILHO; TEZUKA, 1992).

Podem ser obtidos concretos leves com a combinação desses três tipos, como o concreto sem finos com agregados leves e o concreto aerado com um filler leve (GARLET, 1998).

Por outro lado, ao lidar com compósitos de cimento e materiais lignocelulósicos têm-se os desafios da incompatibilidade química entre os dois materiais (prejudica a hidratação do cimento) e a degradação do material lignocelulósico na matriz cimentícia (diminui a durabilidade). BERALDO, 1997; BERALDO, 2011; GLORIA, 2015; ANDREOLA et al. 2016; ANDREOLA, 2017).

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização do presente trabalho mostrou que a madeira de cacto, espécie *Cereus jamacaru*, DC., é bastante peculiar, apresentando características morfológicas (raios muito grandes e compridos), mecânicas (resistência suficiente para pertencer à classe C30-classificação NBR 7190, mas apresentando uma baixa rigidez), químicas (alto teor de cinzas e extrativos) e físicas (densidade muito baixa) atípicas se comparadas às madeiras comuns. A explicação mais provável para esse fato é a necessidade de adaptação aos rigorosos climas e solos pobres existentes em seu *habitat* natural.

A concretização na produção de bio-concreto mostra que é possível utilizar industrialmente essa matéria-prima alternativa.

Fica como sugestão para futuros trabalhos:

- i. Desenvolvimento de uma Caracterização Mecânica mais aprofundada da espécie *Cereus jamacaru*, DC. através da avaliação da Resistência à Compressão Perpendicular, Resistência à Tração e Resistência ao Cisalhamento (ensaios não realizados devido à dificuldade de aquisição da madeira em maiores fragmentos aumentando a complexidade das caracterizações micromecânicas);
- ii. Avaliação da aplicabilidade da madeira de Mandacaru na produção de Painéis de Madeira Reconstituída como o MDP e OSB.

A pesquisa desenvolvida e descrita nesse trabalho foi de fundamental importância na formação acadêmica da estudante que além de compreender melhor os conceitos vistos em disciplinas, teve a oportunidade de colocar em prática conhecimentos teóricos e lidar com tópicos não abordados a nível de graduação.

Enfatiza-se também o grande crescimento pessoal diante diversos desafios que surgiram durante a caminhada científica e exigiram a tomada de decisões eficazes e a busca por soluções.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. T. S. et al. **Utilização medicinal de cactáceas por sertanejos baianos.** Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, Botucatu, v. 8, n. 3, p. 36-42, 2006b.

ANDREOLA, V.M.. **Caracterização física, mecânica e ambiental de bio-concretos de bambu.** 2017.100 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2017.

ANDREOLA, V.M.; TOLEDO FILHO, R. D. ; GLORIA, M. Y. R.. **Desenvolvimento de biocompósitos contendo partículas de bambu.** In: II Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, 2016, João Pessoa. Desenvolvimento de biocompósitos contendo partículas de bambu, 2016.

ARAGÃO, T. C. F. R. et al. **Characterization of a methionine-rich protein from the seeds of *Cereus jamacaru* Mill. (Cactaceae).** Brazilian Journal of Medical and Biological Research, v. 33, n. 8, p. 897-903, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: concreto de cimento Portland: preparo, controle e recebimento: procedimento.** Rio de Janeiro, 2006a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023: informação e documentação – referências – elaboração.** Rio de Janeiro, 2002. 24p.

BERALDO, A. L. **Compuestos de biomasa vegetal y cemento. Aprovechamiento de residuos agro-industriales como fuente sostenible de materiales de construcción,** v. 1, pp. 301-326, 2011.

BERALDO, A. L. **Bambu-cimento: alternativa para construções rurais. Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis,** v. 1, p. 145-50, 1997.

BRITTON, N. L.; ROSE, J. N. **The Cactaceae: descriptions and illustrations of plants of the cactus family.** Washington, The Carnegie Institution of Washington, vol 2, 1920. Disponível em: <<https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=ncs1.ark:/13960/t4dn4bq45&view=1up&seq=9>>. Acesso em: 24/06/2019.

CAVALCANTI, N. B.; RESENDE, G. M. **Efeito de diferentes substratos no desenvolvimento do mandacaru sem espinhos (*Cereus hildemannianus* K. Schum).** Caatinga, Mossoró, v. 19, n. 3, p.255-260, Jul./Set. 2006.

COSTA, SC. **Cacto *Cereus peruvianus*: características estruturais, reológicas e aplicações dos polissacarídeos.** 1997. 202 p. Tese (Doutorado em Bioquímica) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

DAVET, A. **Estudo fitoquímico e biológico do cacto-*Cereus jamacaru* De Candolle, *Cactaceae*.** 2005. 121 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

DE LUCENA, C. M. et al. **Conhecimento local sobre cactáceas em comunidades rurais na mesorregião do sertão da Paraíba (Nordeste, Brasil).** *Biotemas*, v. 25, n. 3, p. 281-291, 2012.

FILHO, F. J. T.; TEZUKA, Y. **Considerações sobre Algumas Propriedades dos Concretos Celulares Espumosos.** Boletim técnico da escola politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 1992. 28p;

GARLET, G. **Aproveitamento de resíduos de EVA (Ethylene Vinyl Acetate) como agregado para concreto leve na construção civil.** 1998. Dissertação (Mestre em Engenharia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

GLORIA, M. Y. R. da. **Desenvolvimento e caracterização de painéis sanduíches de Concreto com núcleo leve e faces em laminados reforçados com fibras longas de sisal.** 2015.133 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2015.

HEWITT, T. **The complete book of Cacti & Succulents.** 1ª Ed. New York. Dorling Kindersley Limited, 1993.

LIMA, G. F. C. 1998. **Alternativas de seleção e manejo de volumosos forrageiros para atividade leiteira no Nordeste.** In.: SIMPÓSIO AGRONEGÓCIO DO LEITE NO NORDESTE: ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS E PERSPECTIVAS DE MERCADO, 1998, Natal, RN. *Anais...* Natal: EMPARN/ FIERN/SENAI. p. 192.

LUCENA, C. M. **Uso e diversidade de cactáceas em uma comunidade rural no Cariri Oriental da Paraíba (nordeste do Brasil).** 2011. 53 f. Monografia (Graduação em Ciências

LUCENA, R. F. P. et al. **A flor chegou, chuva avisou: meteorologia.** *Atualidades em Etnobiologia e Etnoecologia*. v. 2. Recife: Editora NUPEEA, 2005. 205 p.

MATA, M. F. et al. **Incidência e controle alternativo de patógenos em sementes de mandacaru (*Cereus jamacaru* DC, *Cactaceae*).** *Revista brasileira de Biociências*, v. 7, n. 4, 2009.

ROSSIGNOLO, J. A.; AGNESINI, M. V. C. **Concreto Estrutural Leve**. In: ISAIA, G. C. **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: Ibracon, 2005.

SALES, M. de S. et al. **Cereus jamacaru de candolle (Cactaceae), o mandacaru do nordeste brasileiro**. Publicatio, Ponta Grossa, v.20, n.2, p.135-142, jul./dez. 2014.

SCHEINVAR, L. Cactáceas. **Flora Ilustrada Catarinense**, Itajaí. 1985.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. Biblioteca Universitária. **Manual de normalização e estrutura de trabalhos acadêmicos: TCCs, monografias, dissertações e teses**. 2. ed. rev., atual. e ampl. Lavras, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/11017>>. Acesso em: 24/06/2019.



**SEGUNDA PARTE**  
**ARTIGOS**

**ARTIGO 1 – CHARACTERIZATION OF MANDACARU (*Cereus jamacaru*, DC.)  
WOOD AND ITS USE IN LIGHTWEIGHT BIO-CONCRETE PRODUCTION**

# Characterization of Mandacaru (*Cereus jamacaru*, DC.) Wood and its use in Lightweight Bio-Concrete production

Mariana Silveira <sup>1,\*</sup>, Luisa Menali <sup>1</sup>, Uasmin Zidanes <sup>2</sup>, Matheus Dias <sup>2</sup>, M'hamed da Gloria <sup>3</sup>, Fábio Mori <sup>2</sup>, Eduardus Koenders<sup>4</sup>, Romildo Filho<sup>3</sup> and Saulo Ferreira <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Civil Engineering Department, Federal University of Lavras, C.P.3037, 37200000 Lavras, MG, Brazil

<sup>2</sup> Forest Science Department, Federal University of Lavras, C.P.3037, 37200000 Lavras, MG, Brazil

<sup>3</sup> Civil Engineering Department, Federal University of Rio de Janeiro, C.P.68506, Rio de Janeiro, RJ, Brazil

<sup>4</sup> Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Technische Universität Darmstadt, Germany

\* Correspondence: mariana.nalisi@gmail.com

**Abstract:** The Cacti, family *Cactaceae*, are a good alternative to reach the premises of sustainable development. In addition to being a renewable raw material, these plants grow with ease being extremely adaptable to the most diverse and rigorous climates and poor soil. The species *Cereus jamacaru*, DC., popularly known as Mandacaru, has a woody structure little known and, consequently, little explored industrially. The present research aimed at the chemical and morphological characterization of the secondary xylem of cactus in addition to the development and characterization of lightweight bio-concrete produced using cactus wood as bio-aggregate. To obtain the anatomical planes and study the fibrous elements the techniques of Optical Microscopy and Scanning Electron Microscopy (SEM) were used. The quantification of the chemical composition was obtained by laboratory normalized (ABNT) analyzes. Thermogravimetric Analysis (TGA), Raman Spectroscopy, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and X-Ray Diffraction (XRD) were performed. To produce the bio-concrete, the wood was submitted to a treatment of washing in hot water (80°C). Flow table and uniaxial compression tests were performed. The results indicate that the species has high extractive and ash content and low density. The bio-concretes produced could be classified as lightweight and show promising results for using *Cereus jamacaru*, DC. wood in the Construction Industry.

**Keywords:** Mandacaru; Cactus wood; Renewable materials; Bio-concrete; Lightweight Concrete

---

## 1. Introduction

The humanity accelerated development has generated environmental problems since it causes a constant and significant exploitation of the natural resources of the planet. In this context, the civil construction sector stands as a great resources explorer and generator of polluting waste. Therefore, there is a need to search for new technologies and materials that meet the requirements of sustainable development [1-3].

In the development of composites materials, many studies were carried out on cementitious matrix composites and lignocellulosic components and promising results were obtained, showing an improvement in durability, strength and ductility [4-6]. There are many beneficial aspects in the use of lignocellulosic biomass, including sustainability and low energy consumption.

Cacti, from *Cactaceae* family, are an innovative source of utilization, since these species have little known and exploited secondary xylem, and are environmentally advantageous because they are renewable. They also have a highly competitive potential in the current market, since they are extremely adaptable to the most rigorous habitats, growing easily in regions of infertile soils, high

temperatures and low humidity [7-9]. The cactus species *Cereus jamacaru*, DC., popularly known as Mandacaru, is native from Caatinga, one of the most remote and understudied biomes for plant products, an exclusively Brazilian biome [10].

Lack of knowledge about vegetables materials and their potentialities restrict their use. Therefore, it is necessary to realize their chemical, physical and morphological characterization in order to know the right use according to their properties.

In this context, in the present research Mandacaru wood was characterized and the possibility of its use in the production of a wood bio-concrete was verified.

Cactus wood presents peculiar characteristics when compared to common woods and a possible explanation is the adaptation to their natural and harsh environment. The bio-concretes produced could be classified as lightweight and presented good mechanical properties.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Materials

The wood of Mandacaru was obtained from a commercial planting in Barueri - SP, Brazil and was extracted from the base of a three-year-old plant by manual cutting.

### 2.2. Anatomical Planes of wood by Optical Microscopy

For the preparation of the permanent wood histological slides for microscopic analysis of the anatomical planes, the specimens were saturated by immersion in water and sectioned in a slide microtome, set at a 15  $\mu\text{m}$  thickness. The histological sections of the Mandacaru secondary xylem were discolored, dehydrated and colored with safranin 1%.

Afterwards, the cuts were mounted on the slides and cover slip, and these were fixed in Entellan. Approximately ten permanent slides were taken from three specimens of different places on the shaft and with a diameter, width and thickness of 2 x 2 x 2 cm, respectively.

To accomplish the necessary measurements the quantitative analysis was made with *Image J* free software.

### 2.3. Scanning Electron Microscopy – SEM of the wood

First, specimens measuring 2.5 x 2.5 x 2.5 cm were prepared and then placed in a desiccator with water in order to be saturated and to facilitate microtome cutting. After saturation, the specimens of the cactus wood were taken to a microtome where fine cuts of 15  $\mu\text{m}$  thickness were made on the surfaces of interest. The cuts were performed with the purpose of making the surface of the specimen smooth and clean for better visualization of the wood structures. After that, new specimens with dimensions of approximately 0.5 x 0.5 x 0.5 cm were prepared from the original specimens preserving the surfaces where the histological sections were made. Finally, the samples were dried in an oven with air circulation at 40 °C for 24 hours.

A general view of the wood microstructure was investigated using an SEM LEO EVO 40. The microscope was operated under an accelerating voltage of 20 kV. A pre-coating with a thin layer of gold was done to make the specimens conductive and suitable for analysis. Specimens were fixed in a metal stub covered by a carbon-coated tape.

### 2.4. Morphological characterization of the fibers by Optical Microscopy

The quantitative morphological characterization of the fibers was fulfilled with the production of macerated, following the method of [11], for analysis under optical microscope with a *Image J* software to accomplish the necessary measurements.

### 2.5. Chemical characterization

The material was ground and sieved to generate particles with length between 0.25 and 0.40 mm. The quantification of the total extractives was made from an adaptation of [12]. Standards [13] and [14] respectively, were used to determine the content of ash and insoluble lignin.

Holocellulose content was obtained following the procedure described by [15] and starting from dry holocellulose the cellulose content and hemicelluloses were determined following the procedure described by [16].

### 2.6. Thermogravimetric Analysis (TGA)

Particles of cactus wood with a maximum size of 0.074 mm were subjected to a heating. The thermogravimetric analyses were performed in a Shimadzu DTG-60AHTA instrument. Samples were heated from 25 to 1000 °C in nitrogen flowing at 50 mL/min with a heating rate of 10 °C/min. The degradation temperature was determined from inflection of the baseline in the differential thermogravimetric (DTGA) curve.

### 2.7. FT-IR Spectroscopy -Attenuated Total Reflectance (ATR)

The samples of cactus wood (particles of cactus wood with a maximum size of 0,250 mm) were analyzed in Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) analyses was performed using a FTIR Spectrometer Varian 600-IR Series equipped with a GladiATR from Pike Technologies for ATR-FTIR measurements. The sample was scanned from 4000 to 400 cm<sup>-1</sup> with 32 scans averaged for each spectrum at a resolution of 4 cm<sup>-1</sup>.

### 2.8. X-ray Powder Diffraction (XRD) Analysis

X-ray diffractometry (XRD) powder patterns was measured with an X-ray diffractometer (Bruker D8 Focus Advance Eco) with a Cu-K $\alpha$  source ( $\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$ ) in the  $2\theta$  range of 10-40 at a scan rate of 2°/min.

The crystalline fraction (CF) of macerated cactus fibers [11] was determined based on the asymmetric coordinate units of cellulose. The coordinates were extracted from crystallography information data (.cif) [17]. The procedure to obtain the crystallography information file was executed according to [18], using the free software Mercury version 3.10 [19], where patterns with customized full width at half maximum (FWHM) values were created until the values obtained by XRD were reached.

To calculate the theoretical crystalline fraction, the simulation was carried out with crystal information files containing the published coordinates of the asymmetric units of cellulose I $\beta$  because they are the most abundant in nature. The amorphous fraction was created by using a pwhm of 9.0 for the cellulose II pattern calculated with the .cif file [20]. Then, the simulated theoretical crystallinity index was calculated according to Equation 1.

$$CF = \frac{A_{\text{crys}} - A_{\text{am}}}{A_{\text{am}}} \times 100, \quad (1)$$

Where  $A_{(\text{crys})}$  is the area of theoretical crystalline fraction and  $I_{(\text{am})}$  is the area of theoretical amorphous fraction of cellulose. For comparison, the Segal's crystalline index was calculated according to Segal method [21].

The crystallite size of sample was calculated using Scherrer equation (Equation 2) [22,23]. This step was carried out on the theoretical curves.

$$\tau = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}, \quad (2)$$

Where  $\tau$  is the size perpendicular to the lattice plane represented by the peak in question (200),  $K$  is a constant that depends on the crystal shape,  $\lambda$  is the wavelength of the incident beam in the diffraction experiment,  $\beta$  is the FWHM in radians and  $\theta$  is the position of the peak in radians.

### 2.9. Raman Spectroscopy

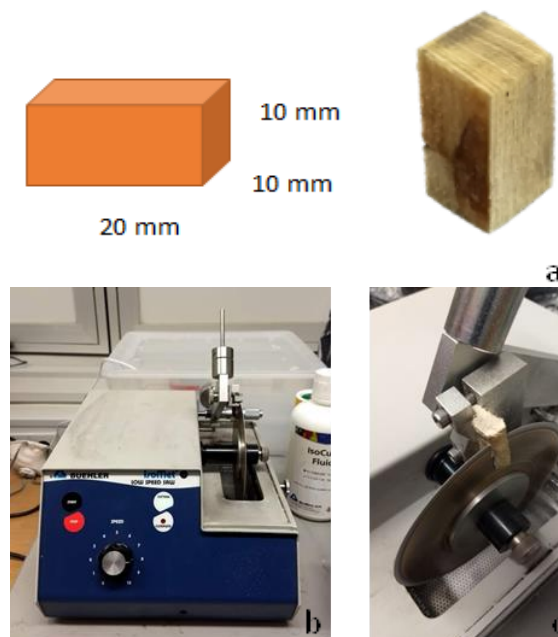
Previously to measurement, the samples of wood were macerated by the method [11] and stored in ethanol. These samples were used in Raman spectroscopy measurements that was realized using a 532 nm excitation LASER (green) on Labram HR Evolution/ Raman spectrometer from Horiba Scientific with an objective lens of 50x. The measurements were performed at 10% of LASER intensity in range from 4000 to 250  $\text{cm}^{-1}$ .

From the normalized intensity of the Raman spectra it was possible to estimate the crystallinity of the cellulose of the cactus fibers by Eq.3, described by [24]:

$$X_{\text{Raman}} = \frac{(I_{380} \div I_{1096}) - 0.0286}{0.0065}, \quad (3)$$

### 2.10. Mechanical characterization by axial Compressive test

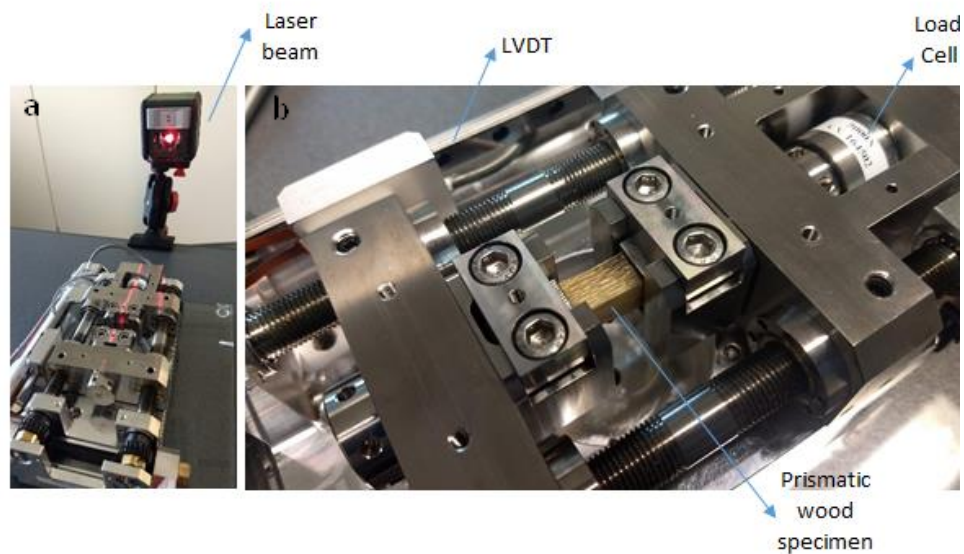
Compressive tests of specimens with 10 x 10 x 20 mm (width x height x length) size were performed in an electromechanical testing machine developed by Kammrath Weiss Gmbh. A load cell of 5.5 kN were used. The tests were carried out using a displacement rate of 0.1 mm/min. The specimens dimension was selected based on standard DIN 52185, witch recommend specimen size of 30 x 30 x 60 mm. The reduced size of the specimens was selected due the obtained cactus wood, presenting small pieces.



**Figure 1.** Specimens cross-section and dimensions on mold(a); Low speed precision saw (b); Sample cutting process (c).

Literature confirm the possibly of perform mechanical evaluation with small or also called micro specimens. According Weibull, the probability of defects occurring in a solid is proportional to its size, and consequently the mechanical resistance is statistically higher in small test pieces [25-27]. Oposite results were founded by [26]. According the authors the compression strength value of the micro-size samples (3mm x 3mm x 5 mm) was 2.6 % lower compared to the standard-size samples (20 mm x 20

mm × 30 mm). Authors conclude micro-size test samples can be used to estimate the standard-size test results. Similar conclusions was also obtained by [27,28].



**Figure 2.** Compressive test setup: Laser beam for specimen alignment (a) and Electromechanical testing machine stage with a wood specimen (b).

#### 2.11 Physical characterization: Basic Density and Water Absorption

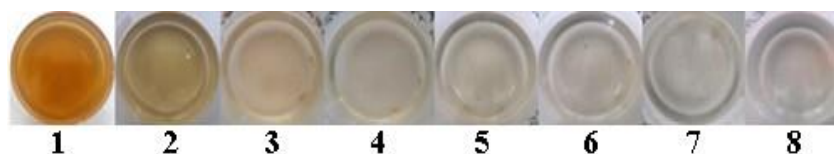
To determine the basic density of wood and the water absorption capacity, a procedure adapted to the one described in [29] was used. Small sections of Mandacaru were left submerged in water to the point of saturation and after that both their mass and the saturated volume were measured. After 72 hours in the oven at  $103 \pm 2^\circ \text{C}$  its dry mass was measured.

#### 2.12 Lightweight bio-concrete production

##### 2.12.1. Bio-aggregate

For production of the bio-concretes, the bio-aggregate was milled in a hammer mill and particles with a length of approximately 0.5 to 10 mm were used. A washing cycle experiment, based on [2] was performed to determine the amount of washing required to reduce extractives. In this work it is proposed to wash eight times the particles in hot distilled water. A ratio of 1 g/60 ml was used between particle mass and water volume and the whole heated at  $80^\circ \text{C}$  for one hour. After the washing, the particles were separated and washed again in order to start another cycle.

A gradual variation of the water coloration (Figure 3) was observed, and that can be explained by the reduction of the extractives of the biomass. It should be noted that this removal of extractives occurred mainly during the first three washing cycles since the difference in coloration from the third to the eighth waste water, was not significant. Thus, it was established that the particles should be subjected to 3 cycles of washes before being used for the production of the bio-concrete.



**Figure 3.** Waste water of wood particles after 8 washings cycles

The apparent density of the bio-aggregates particles was characterized according to [30]. The result was  $0.25 \pm 0.05 \text{ g/cm}^3$

### 2.12.2. Binder and additives

Previous work on wood cement composites [31-33] obtained satisfactory results using Brazilian CPV-ARI Portland cement (cement of high initial strength) as binder. The chemical composition and density of the cement can be verified in Table 1.

**Table 1.** Chemical composition and density of cement CP V - ARI.

Chemical compost	Percentage (%)
CaO	70.140
SiO <sub>2</sub>	15.475
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.870
SO <sub>3</sub>	4.207
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.458
K <sub>2</sub> O	1.028
SrO	0.407
TiO <sub>2</sub>	0.244
MnO	0.138
CuO	0.016
ZnO	0.015
<b>Density</b>	<b>3.17 g/cm<sup>3</sup></b>

3% calcium chloride (CaCl<sub>2</sub>) addition (based on the cement mass) is also used to accelerate the cement hydration.

### 2.11.3. Bio-concrete production

Table 2 shows blends composition used for the production of cactus bio-concretes (CBC). The cement consumption and the volume of wood were set following [32] and for all mixtures the water-to-cement ratio (w/c) ratio was 0.4.

Knowing the high water absorption of the biomass, it is important to have enough water to keep the fibers saturated to allow the cement to hydrate and also to guarantee the consistency of the bio-concrete [32, 33], so, an amount of water was added to compensate the absorption of the bio-aggregate. For CBC100, 100% of compensating water (relative to wood mass) was added and 200% was added to CBC200. The variation in compensating water had the objective to evaluate the necessity of its placement in front of the wood's absorption obtained and the desired workability.

**Table 2.** Blend Compositions.

Blend	Wood volume (%)	Mass ratio				
		Cement	Wood	Water	Compensation water	CaCl <sub>2</sub>
CBC100	45.0	1	0.145	0.4	0.145	0.03
CBC200	45.0	1	0.145	0.4	0.290	0.03

The cactus bio-concretes (CBC) were produced in a 5 liters planetary mixer. The calcium chloride was previously dissolved in water in a reserved container forming a homogeneous solution. Then, the cement and wood particles were introduced in the mixer and homogenized for 1 min. Next, the water was gradually added to the dry materials for 1 more minute, followed by an interruption for manual release of the material attached in the mixer bottom. The mix continued until reach 05 min of total time.

Cylindrical specimens of 5 x 10 cm (diameter x height) were produced. The molds were filled in three layers and the type of compaction was manual with 15 strokes per layer. The specimens were protected against moisture loss until demolding, which happened 24 hours later. Finally, the specimens were placed in a humid chamber at 20 °C ( $\pm 2$  °C) and 95% ( $\pm 2\%$ ) humidity until they reached 28 days.

At fresh state, the property evaluated was the consistence index through the *flow table test*. The consistence index of each mixture was obtained from the average of the spreading diameters. Based on the Brazilian standard [34], the compressive test was performed after 28 days in a Shimadzu-1000 kN universal test machine, at a speed of 0.3 mm/min.

The vertical displacements were obtained from the average reading of two linear variable differential transformers LVDTs. For each mixture, four cylindrical specimens were tested. The modulus of elasticity was determined according to the requirements of standard [35].

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Physical properties

The results obtained for the basic density and the wood water absorption are in Table 3.

**Table 3.** Physical properties.

<b>Water absorption (%)</b>	<b>Basic density (g/cm<sup>3</sup>)</b>
199 $\pm$ 11	0.34 $\pm$ 0.1

Following the classification of [36], the wood of the *Cereus jamacaru*, DC. can be classified as low density since the value of 0.34 g / cm<sup>3</sup> is less than 0.50 g / cm<sup>3</sup>. The values found are consistent since the low density can be caused by a high internal porosity.

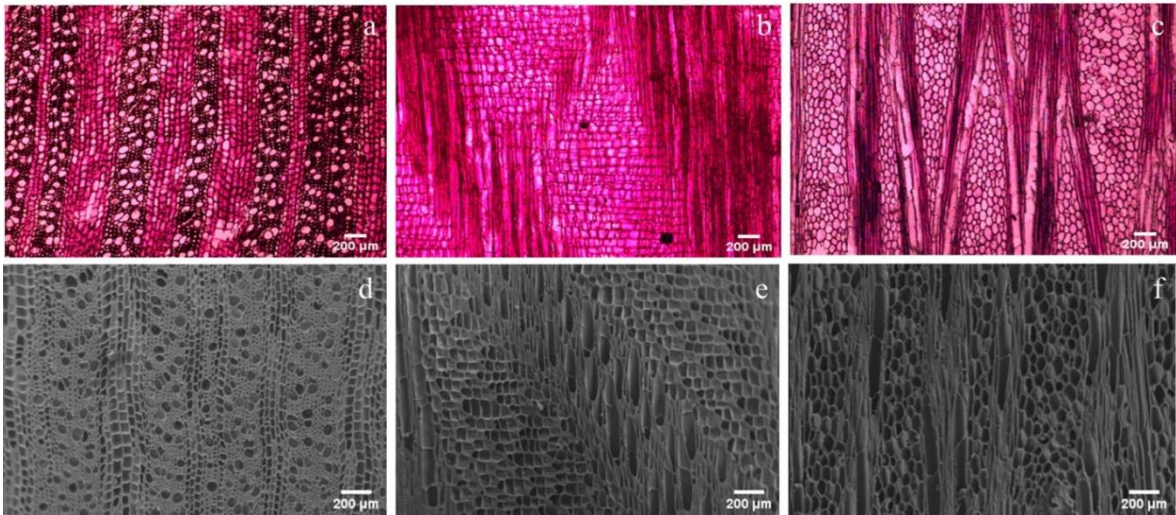
#### 3.2. Morphological characterization

With the analysis of the three planes of the secondary xylem: transversal, radial and tangential (Figure 4) it was possible to identify the microscopic characteristics.

There are Growth Rings boundaries indistinct and not visible. Diffuse porosity, multiple vessels, 2-3 mostly but with the presence of solitary vessels. Vessels Frequency is 56.1/mm<sup>2</sup> and wood vessel diameter average is 61.58 $\mu$ m (Table 4). The vessels shape is sphere and with tyloses or deposits.

The Vessels Frequency obtained can be considered high if compared to the values of [37] that study trees of nine eucalypt species (common hardwood in Brazil) and found values of Vessels Frequency between 9.2 and 14.7/mm<sup>2</sup>. This fact corroborates with the low density and high water absorption founded.





**Figure 4.** Mandacaru wood plans with 4X objective lens: transverse (a), longitudinal radial (b) and longitudinal tangential (c). Images in scanning electron microscopy: transverse (d), longitudinal radial (e) and longitudinal tangential (f).

**Table 4.** *Cereus jamacaru*, DC. microscopic characteristics<sup>1</sup>.

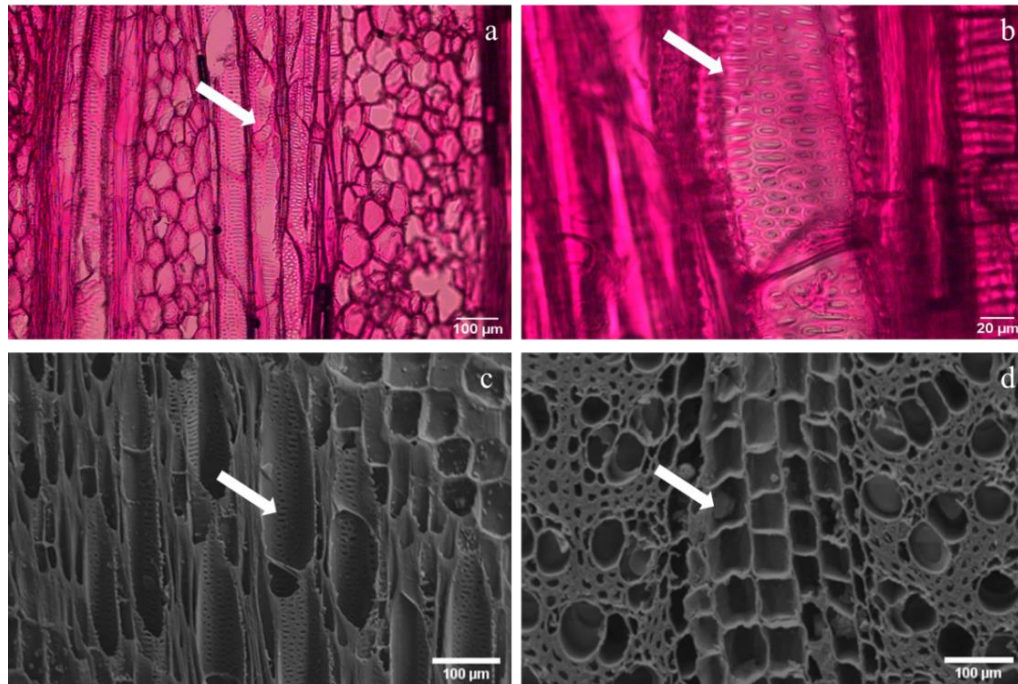
	RL (µm)	RF (no/mm <sup>2</sup> )	DV (µm)	VF (no/mm <sup>2</sup> )
<b>Average</b>	156.85	2.3	61.58	56.1
<b>SD</b>	39.41	0.48	9.54	8.97
<b>VC</b>	25.13%	21%	15.49%	15.99%

<sup>1</sup> Rays Larger (RL); Rays Frequency (RF); Diameter Vessel (DV); Vessels Frequency (FV); Standard Deviation (SD); Variation Coefficient (VC).

It was still identified simple perforation plates (Figure 5a), intervessel pits alternate with the presence of opposite (Figure 5b, 5c). The Axial parenchyma is rare and non-lignified parenchyma between axial elements was observed in bands.

Rays are visible to the naked eye in Mandacaru wood (Figure 5d), being multiseriate with width less than ten cells. Larger rays of 156.85 µm and 2.3/mm<sup>2</sup> frequency (Table 3). The rays are heterogeneous with upright cells in marginal and square cell in the center. It was not possible to make the length rays measurement because even in the objective of 4x it is impossible to see the whole ray. Thus, confirming how much the rays of the species studied are very long and wide to the point of being visualized with the naked eye.

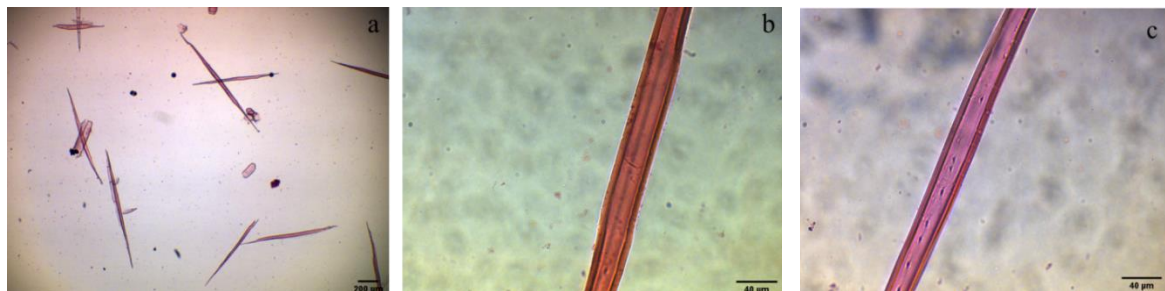
Mandacaru has structures that indicate water security and storage of substances, such as septate fibers and parenchyma, besides the rays being larger and long. It can be an adaptation to the environment where the species is normally found. The wood has larger vessels, with larger intervessel pits and simple perforation plates (Figure 5), indicating that they have water security characteristics [38].



**Figure 5.** (a) Simple perforation plates; (b) Pits; (c) Scanning electron microscope pits; (d) Rays cells with deposits of substance inside.

### 3.3. Analysis of fibrous elements

The analysis of the fibrous elements is important because they influence the characteristics of the wood and, consequently, the destination that can be given to it. In Figure 6 the Mandacaru fibers (a, b, c) and vessel elements (a) can be seen.



**Figure 6.** *Cereus jamacaru*, DC. fibrous elements with increase in 4x objective lens (a) and 40x (b, c). In (b) we can see a septate fiber.

From the generated images with objective lens of 4x it was possible to measure the fibers length and from the images generated with objective lens of 40x, it was obtained the fibers diameter and the lumen thickness. The cell wall thickness was obtained by Equation 4:

$$CWT = \frac{(D-LT)}{2}, \quad (4)$$

Where CWT is the cell wall thickness, D is the diameter of the fibers and LT is the lumen thickness. The results are on Table 5.

**Table 5.** Dimensional morphological analysis of *Cereus jamacaru*, DC. fibers ( $\mu\text{m}$ ).

Length	Diameter	Lume Thickness	Cell Wall Thickness
801.7 $\pm$ 206.5	34.6 $\pm$ 7.7	19.1 $\pm$ 7.2	7.8 $\pm$ 1.9

According to [39] *C. Jamacaru* fibers are short, and that can negatively influence tensile strength and burst strength.

If the cell walls are thin in relation to fiber diameter, it can result in lower stiffness, lower compressive strength, lower wood density and it is an indicator of low cellulose content. In order to evaluate this question the stiffness coefficient can be calculated with Equation 5:

$$SC = \frac{2 CWT}{D}, \quad (5)$$

Where  $SC$  is the stiffness coefficient,  $CWT$  is the cell wall thickness and  $D$  is the fiber diameter. Once the division results in an average coefficient of 0.451 the cell wall can be classified as medium thickness [40-42].

It is also possible to calculate the spin index of *C. Jamacaru* fibers from Equation (6) below:

$$\Lambda = \frac{L}{D}, \quad (6)$$

Where  $\Lambda$  is the spin index,  $L$  is the fiber length and  $D$  is the fiber diameter. The more the diameter approaches the fiber length, i.e., the lower  $\Lambda$ , the greater the mechanical stability for a given load application parallel to the fiber direction. The average index found was 23.17 and is a good result when compared to values obtained in other characterization works 78.8 [42], 36.66 [43] and 65.26 [44].

### 3.4. Chemical analysis

The results obtained through the chemical analysis are shown in table 6.

**Table 6.** *Cereus jamacaru*, DC. chemical composition (%)

Total Extractives	Insoluble Lignin	Cellulose	Hemicelluloses	Ashes	Total
18.2 $\pm$ 2.3	1.7 $\pm$ 0.9	21.4 $\pm$ 3.1	16.2 $\pm$ 3.1	36.4 $\pm$ 1.7	93.9 $\pm$ 11.1

The chemical analyzes indicated a very high content of extractives and ashes when compared to the average contents in hardwood and softwoods. Since these are components of low molecular weight, this result corroborates with other indicators of low density [45].

This high content of extractives can be a harmful factor for possible industrial applications which could imply the need for pre-treatment of wood, for example, washing in water to reduce extractives and use in cement composites [31-33].

The cellulose content is low compared to the average contents in hardwood and softwoods what is not favorable since the structure of the cellulose exerts great influence on the physical and mechanical properties of the fibers, as elasticity and tensile strength, desirable properties for constructive elements. Hemicelluloses can cause disadvantageous properties such as hygroscopy, swelling and plasticity [45]

Lignin chemical structure acts as a natural reducer of susceptibility to wood degradation. The low concentration presented by *C. Jamacaru*,DC. can therefore entail higher costs with treatments and products that avoid this degradation. In addition, this value of content is not interesting for energy applications [45].

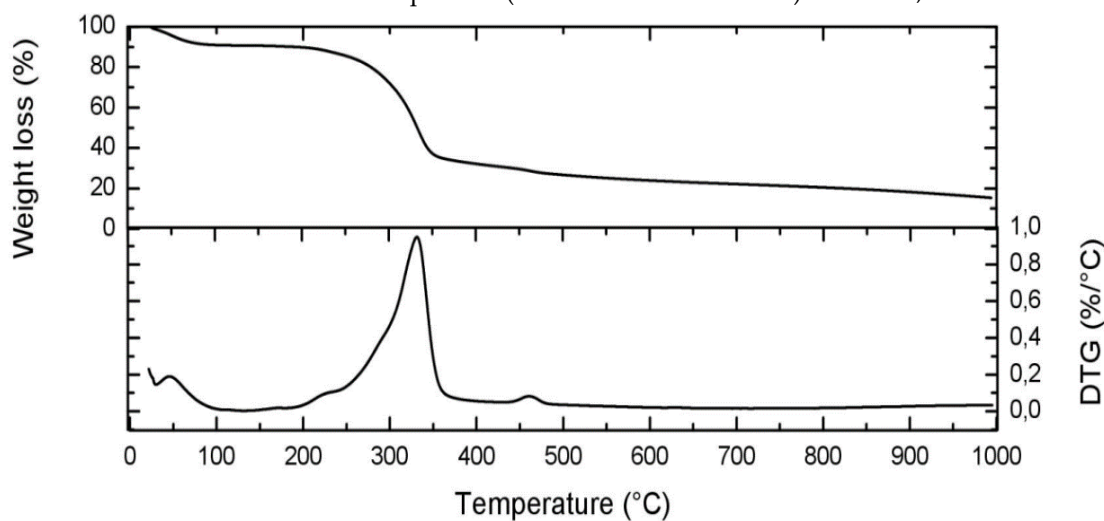
### 3.5. Thermogravimetric analysis

The thermogravimetric analysis resulted in the curves shown in Figure 7. The constituent molecules of a material degrade at specific temperatures. This means that significant falls in the weight decay curve show the disintegration of a given compound. By deriving the weight curve these falls are converted into easily identifiable characteristic peaks.

Peaks prior to 100 °C are due to evaporation of free water. The degradation of cellulose begins to occur at 210°C followed by major endothermic reaction of depolymerization with DTG peaks at 360 °C. The depolymerization of hemicellulose occurs between 180 and 350°C, and the degradation of lignin between 250 and 500°C [46-48].

For *Cereus jamacaru*, DC. species a large peak can be seen in the DTG curve around these temperatures. What probably happened was an overlapping of peaks that made it impossible to analyze each component separately. In addition to this large peak, two smaller ones can be observed around 200-250°C and 400-430°C. According to the aforementioned literature, it is probably due to the initial degradation of the hemicellulose and final of the lignin, respectively.

What remains at the end of the process (in that case almost 16%) is carbon, i.e. the ashes

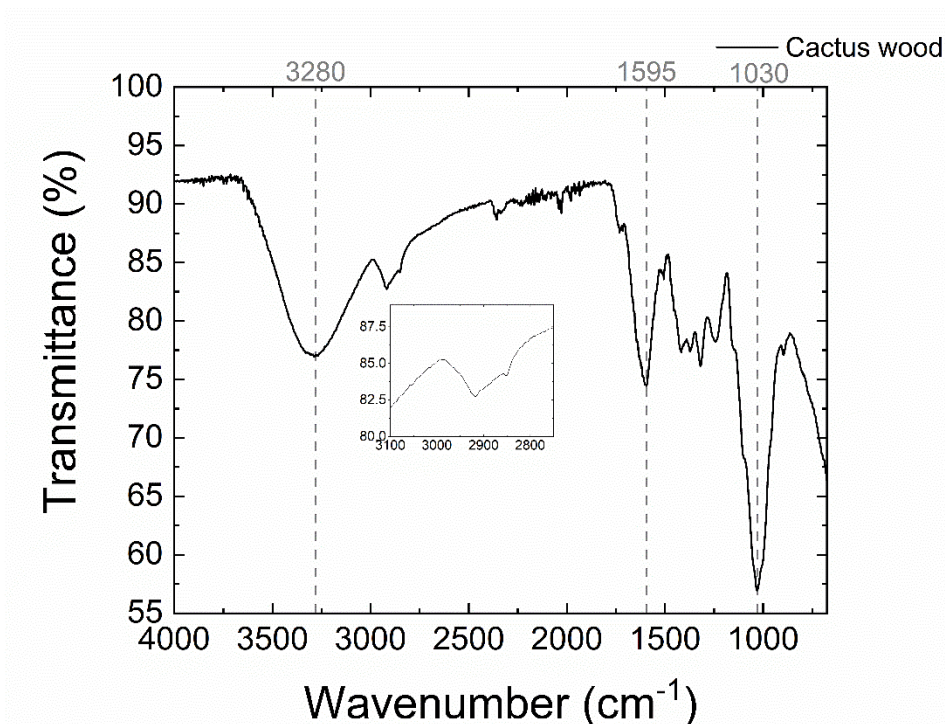


**Figure 7.** Thermogravimetric analysis of *Cereus jamacaru*, DC. wood.

### 3.6. FT-IR analysis of *Mandacaru* wood

The spectra of cactus wood showed some characteristic peaks, for example, in the 1595  $\text{cm}^{-1}$  range and 1030  $\text{cm}^{-1}$  (Figure 8). These peaks are representations of C=C stretching bonds, aromatic rings and also compounds such as flavonoids (compounds that make up the tannins) and stretches = C-O-C=, oxo-aromatic components, respectively. The band corresponding to the O-H bonding represented by the peak of 3280  $\text{cm}^{-1}$  was well defined, with a band well representative of the amount of water present in the sample.





**Figure 8.** The FT-IR spectra of cactus wood.

Other peaks appear on the graph thus completing the set of chemical bonds cactus wood presents as carbon, oxygen, hydrogen and nitrogen bonds. Other O-H bonds appear along the peaks in addition to carbon-carbon bonds and are known to be strong chemical bonds.

**Table 7.** FT-IR peaks for cactus wood [49-57].

FTIR bands assignment of cactus wood and peaks (cm <sup>-1</sup> )	
Cactus Wood	Band assignment
3280	O-H stretch
2985	C-H stretching aromatic compounds
2916	C-H stretch. Aliphatics
2846	O-H stretch. Carboxylic acids
2361	N=C=O stretch
1727	C=O stretch. Carbonyl
1595	C=C stretch. Aromatics (6C) also flavonoids
1511	C=C-H stretch. Aromatic (in-plane) also furanics
1418	C-H deform. Aliph. C-C str. Ring B
1370	C-H bend. O-H bend (catechin)
1321	C-H bend. Aromatic conjugated sequences of polymer backbones
1245	O-H bend. in-plane deformation
1185	Phenyl acetates. C-O bending. C-H bend. Arom.
1030	stretch =C-O-C=. Breathing oxo-aromatic compounds
891	C-H bend aromatic

Two peaks around 2920 and 2850 cm<sup>-1</sup>, highlighted in figure 8, are related to asymmetric and symmetric methyl and methylene stretching groups, and based on [46] could be attributed to the high

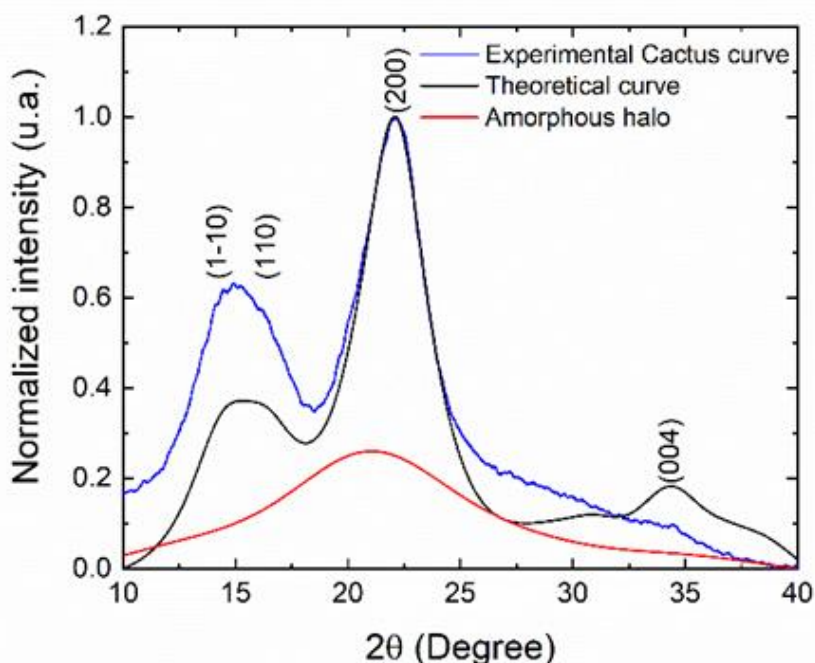
extractives content in this wood. In their study, the authors obtained the spectra of several species and observed sharp peaks in these regions precisely for the wood that contained higher extractive content. According to the authors, this can be explained by some compounds in organic extractives, like fatty acid methyl esters and phenolic acid methyl esters, which contain methyl and methylene groups. This result corroborates with the chemical analysis.

### 3.7. Crystallography analyses of Mandacaru fibers

X-ray diffraction (XRD) of the cactus plant fibers is shown in Figure 9. These patterns are typical of semi crystalline materials with an amorphous halo and crystalline peaks. The XRD patterns of cactus fibers exhibited a sharp peak near to  $2\theta = 22.6^\circ$ , which was assigned to the (200) lattice plane of cellulose I. Cellulose I is a structure that comprised repeating  $\beta$ -(1  $\rightarrow$  4)-d-glucopyranose units with building blocks of parallel glucan chains.

The peaks can move in the powder diffraction pattern due to the difference in the dimensions of the unit cell, which requires the editing of the crystallographic information file (CIF) before making the theoretical curves [58,59]. The peak dislocation at  $2\theta = 22.6^\circ$  to lower values of  $2\theta$  is due to the slight increase of one axis in the unit cell. The shoulder of the peak around  $2\theta = 20.4^\circ$  corresponding to planes (012) and (102), may be due to the absence of preferential orientation of the crystals [58].

The CF (59.12%) calculated using the Mercury software (Table 8) presents slightly different values from those obtained by the Segal method (55.34%). According to [58], the Segal method has long been used because of its simplicity, but its results are controversial, because underestimates the amorphous fraction of cellulose. The CI values calculated by the Segal method may be smaller than the actual values; this is because the FWHM in XRD patterns like these is broader than the formula of Scherrer indicates for crystallites of a given size. XRD patterns with large FWHM may result in peak overlap, overestimating the intensity in the region related to the amorphous fraction of cellulose [18, 59].



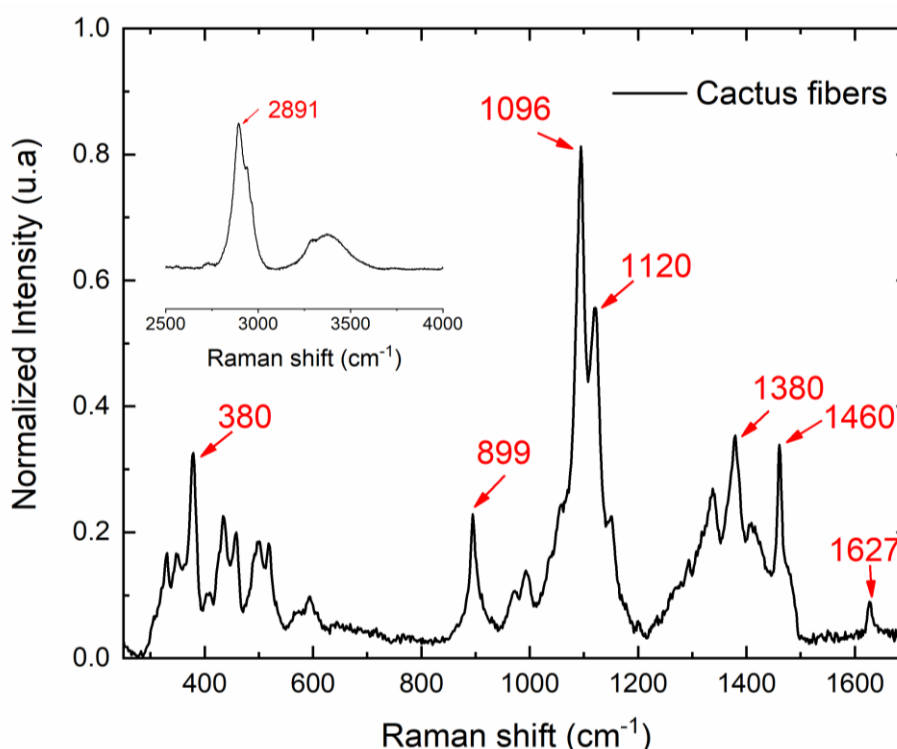
**Figure 9.** X-ray diffraction (XRD) of the cactus fibers.

**Table 8.** Mandacaru fibers crystallography.

Crystalline fraction – CF (%)	Segal's crystallinity index – CI (%)	Crystallite size – CS (nm)
59.12	55.34	2.37

### 3.8. Raman analysis of Mandacaru fibers

The Figure 10 shows Raman spectra of cactus fibers. Raman spectroscopy is useful to identify the chemical composition of lignocellulosic compounds and rapidly characterize these materials [60, 61]. In Raman spectra, the band at  $380\text{ cm}^{-1}$  is attributed to cellulose and band at  $899\text{ cm}^{-1}$  corresponds to the in-plane symmetric stretching of the C–O–C [62, 63]. The vibrational mode associated with (C–O–C) of the  $\beta$  - (1–4) glycosidic linkages of the glucopyranose units at  $1120\text{ cm}^{-1}$  corresponding to the symmetrical stretching, encompasses both cellulose and hemicelluloses. The band at  $1096\text{ cm}^{-1}$ , is assigned to the asymmetric (C–O–C) stretching mode, not being influenced non-cellulosic carbohydrates [61]. The band at  $1380\text{ cm}^{-1}$  is associated with  $\text{CH}_2$  deformation vibrations and band at  $1460\text{ cm}^{-1}$  is due to  $\text{CH}_2$  bending region [63, 64]. The peak at  $1627\text{ cm}^{-1}$  may be attributed to phenyl groups of residual lignin that is normally identified in region between  $1600 - 1700\text{ cm}^{-1}$  [60, 61]. The strong band at  $2891\text{ cm}^{-1}$  is due to symmetric and asymmetric stretching vibrations of  $\text{CH}_2$  [63].

**Figure 10.** Raman spectra of cactus fibers.

The cellulose crystallinity estimated by 380-Raman method was 57.32%, close to values obtained for crystallinity obtained by XRD analysis using Segal (55.34%) and Mercury (59.12%) methods.

### 3.9. Wood Compressive Strength

Figure 11 present the results of axial compressive test of wood. The summary of average data and scattering is shown in Table 8. The results indicate that *Cereus Jamacaru*, DC wood has a compressive

strength of 38.2 MPa. This value can classify the studied wood in a C30 strength class according to [65].

The presented average value indicate Cactus Wood as strongest than Cedro Doce, (*Cedrela sp*), Quarubarana (*Erismia uncinatum*) and Cedrona wood (*Cedrelinga catenaeformis*). The C30 strength also includes Cedro Amargo (*Cedrela odorata*), Cupiúba (*Goupia glabra*), and Branquilha (*Terminalia sp*) wood [66].

Even presenting an expressive compressive strength, the studied wood has a low stiffness, leading to a high deformation capacity. For the C30 strength classification is expected a stiffness of around 14.5 GPa. The studied cactus wood presented a stiffness of 2.31 GPa.

This values is near to woods such as Caixeta (*Simarouba amara Aubl.*), Cambará (*Erismia uncinatum Warm*), Quarubarana (*Eisma uncinatum*), Cedro Doce (*Cedrella spp*) and Pinus bahamensis (*Pinus caribea var. bahamensis*) with values of 7.2, 10.4, 9.06, 8.05, 7.1GPa, respectively [67].

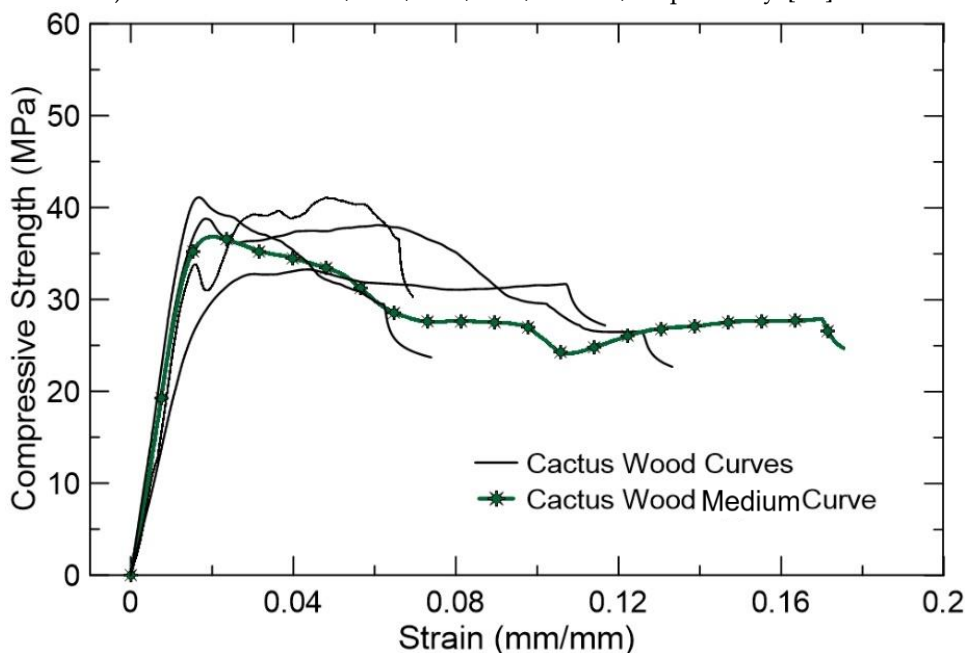


Figure 11. Axial compressive curves of cactus wood *Cereus jamaracu,DC. t*.

Table 9. Results of axial compressive test of cactus wood *Cereus jamaracu, DC*.

Sample	Specimen side dimension (mm)	Compressive strength (MPa)	Stiffness (GPa)	Strain at peak load (mm/mm)
Cactus Wood ( <i>Cereus Jamaracu,DC</i> )	10	38.20 ± 2.94	2.3 ± 0.34	0.022 ± 0.001

3.10. Bio-concretes

The characterization of cactus wood highlights the peculiar morphological structures and chemical composition that allow it to have a low density far below the other hardwoods. For that reason, it is assumed that a good purpose for use would be in the production of lightweight bio-concretes.

3.10.1. Fresh state properties



During the production of the bio-concretes no segregation or exudation occurred and the particles were homogeneously distributed in the pulp and the adhesion between the wood and the other components was ideal. Also, the mixtures achieved good workability [32] as can be seen by analyzing the results in Table 10.

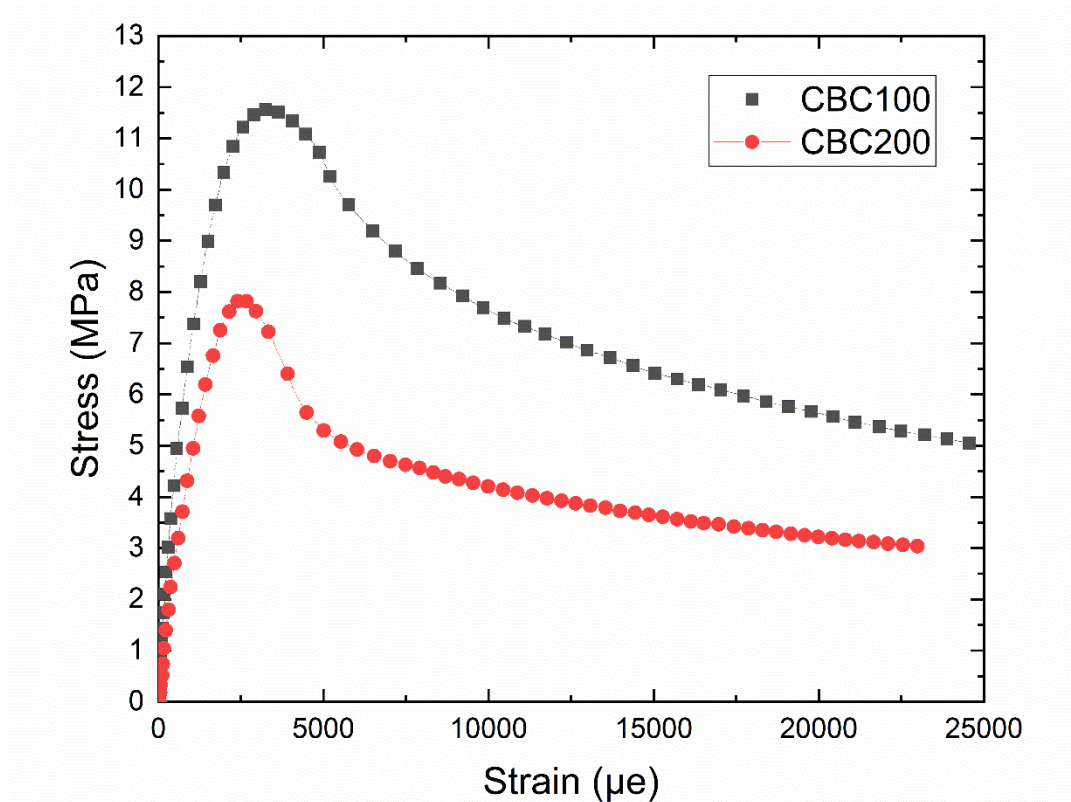
**Table 10.** Flow table test (units in mm).

Blends	CBC100	CBC200
Consistency index	225	282.5

As expected, CBC200 showed the higher spreading, for having more compensating water than CBC100. This result indicates that the higher quantity of compensation water (200%) in the mixtures positively influenced its workability.

### 3.10.2. Hardened state properties

The composites with cactus wood and cement studied were demolded with one day of age indicating that the wood washing and the addition of calcium chloride were effective in preventing delay/inhibition of cement hydration reactions. After 28 days of age the CBC were submitted to the uniaxial compression test, and the stress vs strain curves are presented in the Figure 12.



**Figure 12.** Typical stress-strain curves of bio-concretes submitted to compression test.

The values of maximum strength as well as the modulus of elasticity and density of the bio-concretes studied are shown in Table 11.

**Table 11.** Bio-concretes physical and mechanical properties.

Blend	Compression Strength (MPa)	Strain ( $\mu\epsilon$ )	E (GPa)	Density ( $\text{kg/m}^3$ )
CBC100	11.77 $\pm$ 1.04	24448.03 $\pm$ 3810.72	5.33 $\pm$ 0.25	1451.6
CBC200	8.18 $\pm$ 0.19	18337.4 $\pm$ 5122.4	4.47 $\pm$ 0.35	1284.0

The bio-concretes ranged from 1284 to 1451.6  $\text{kg/m}^3$  of density. According to [68], they can be classified as lightweight materials, since they have a density of less than 1800  $\text{kg/m}^3$ . The determinant variables on density were the amount of water and cactus wood (more water and more cactus wood resulted lower densities).

With the stress versus strain curve generated, it was possible to observe that the bio-concretes presented an initial elastic linear behavior, followed by a region of marked nonlinearity until reaching the maximum tension. The rounded aspect of the curve can be explained by micro cracking pre-rupture of the bio-concrete that increases the deformations recorded by the LVTDs.

The blends reached between 7.4 and 10.5 MPa of compressive strength.

It was observed that by reducing the compensating water in half the bio-concrete had a density gain of 11%, decrease of the MOE of 10% and 30% of resistance gain, but loss of workability.

CBC200 showed similar results to those of [33] that use bamboo particles as bio-aggregate, obtained maximum resistance of 4.20 MPa, MOE of 2.35 GPa and 788.47  $\text{kg/m}^3$  of density and 285 mm of spreading. These results show that in cement matrix fixation the cactus bio-concrete obtained better properties than the bamboo, which is probably due to the large amount of fine particles present in the mixture, which reduced the amount of voids, densifying the mixture and consequently increasing mechanical properties.

Comparing with the general literature existing, bio-concretes with cactus wood although less resistant have as main differential the low density that they can achieve and the fact of maintaining a relatively high stiffness [2, 32-33].

#### 4. Conclusions

The morphological and chemical characterization of cactus wood of the species *Cereus jamacaru*, DC. led to interesting and quite atypical results when compared to common woods. The most plausible explanation is the adaptation to their natural habitat of severe climate and poor soil.

It is suggested as a future work the mechanical characterization of this wood in order to better verify its applicability in situations that require mechanical resistance, besides the development of other types of composites.

With regard to bio-concretes, the washing treatment on the cactus wood particles together with the use of the Portland cement CPV-ARI and the addition of calcium chloride were effective in guaranteeing the cement hydration and in the hardening of the bio-concretes.

Finally, the objective of producing lightweight bio-concretes was reached given the low final density of the products. In addition, good physical, mechanical and workability properties (properties of interest in construction) have been reached and it can be concluded that cactus wood can be used as an alternative lignocellulosic source in the production of bio-concretes for use in various purposes in the construction industry.

**Acknowledgments:** The authors would like to thank the Central of Analyses and Chemical Prospecting of the Federal University of Lavras for technical support involving all analyses and also the NUMATS research center and LabEST of the Federal University of Rio de Janeiro. The authors also thank FINEP, FAPEMIG (grant # TEC-AUC-00026-16), CNPq and CAPES (Finance Code 001), for supplying the equipment and financial support.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## References

1. Ferreira, S. R.; Silva, F. A.; Lima, P. R. L.; Toledo Filho, R. D. Effect Of Hornification On The Structure, Tensile Behavior And Fiber Matrix Bond Of Sisal, Jute And Curauá Fiber Cement Based Composite Systems. *Construction & Building Materials*, V. 36, P. 1, **2016**.
2. Da Gloria, M. Y. R. Desenvolvimento E Caracterização De Painéis Sanduíches De Concreto Com Núcleo Leve E Faces Em Laminados Reforçados Com Fibras Longas De Sisal. 2015.133 F. Dissertação (Mestrado Em Ciências Em Engenharia Civil) – Universidade Federal Do Rio De Janeiro, Rj, 2015.
3. Mesquita, R.G.A.; Mendes, L.M.; Mendes, R.F.; Tonoli, G.H.D.; Marconcini, J. M.; Inclusão De Feixes De Sisal Na Produção De Painéis Mdp De Eucalipto. *Scientia Forestalis (Ipef)* V.43, P.1-8, **2015**.
4. Ferreira, S. R.; Silva, F. A.; Lima, P. R. L.; Toledo Filho, R. D. . Effect Of Fiber Treatments On The Sisal Fiber Properties And Fiber-Matrix Bond In Cement Based Systems. *Construction & Building Materials*, V. 101, P. 730-740, **2015**.
5. Junior, Alex Neves ; Ferreira, Saulo Rocha ; Toledo Filho, Romildo Dias ; De Moraes Rego Fairbairn, Eduardo ; Dweck, Jo . Effect Of Early Age Curing Carbonation On The Mechanical Properties And Durability Of High Initial Strength Portland Cement And Lime -Pozolan Composites Reinforced With Long Sisal Fibres. *Composites Part B-Engineering*, V. 1, P. 1, **2018**.
6. Frazao, C.; Barros, J.A.O. ; Toledo Filho, R. D.; Goncalves, D.; Ferreira S. R. . Development Of Sandwich Panels Combining Sisal Fiber-Cement Composites And Fiber-Reinforced Lightweight Concrete. *Cement & Concrete Composites*, V. 11, P. 8, **2017**.
7. Anderson, E. F. *The Cactus Family*. Portland: Timbre Press. 777 P. 2001
8. Sales, M. De S. *Et Al*. *Cereus Jamacaru De Candolle (Cactaceae), O Mandacaru Do Nordeste Brasileiro*. Publicatio, Ponta Grossa, V.20, N.2, P.135-142, Jul./Dez. 2014.
9. Lorenzi, H. *Árvores Brasileiras: Manual De Identificação E Cultivo De Plantas Arbóreas Do Brasil*. V. 3 2ª Ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2016.
10. Nepomuceno, Neymara C. et al. Extraction and characterization of cellulose nanowhiskers from Mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.) spines. *Cellulose*, v. 24, n. 1, p. 119-129, **2017**.
11. Franklin, G.L. Preparation Of Thin Sections Of Synthetic Resin And Wood: Resin Composites, And A New Macerating Method For Wood. *Nature*, London, V.155, N.3924, P.5, 1945.
12. [Associação Brasileira De Normas Técnicas, ABNT, NBR 14853 - Madeira - Determinação Do Material Solúvel Em Etanol-Tolueno E Em Diclorometano. Rio De Janeiro, 2002, 3p.
13. Associação Brasileira De Normas Técnicas, ABNT, NBR 13999- Papel, Cartão, Pastas Celulósicas E Madeira – Determinação Do Resíduo (Cinza) Após A Incineração A 525 °C. Rio De Janeiro, 2017, 5p.
14. Associação Brasileira De Normas Técnicas, ABNT, NBR 7989- Pasta Celulósica E Madeira: Determinação De Lignina Insolúvel Em Ácido. Rio De Janeiro, 1998, 5p.
15. Browning, B. L. *The Chemistry Of Wood*. Warrenville: Interscience, 1963, P.689.
16. Kennedy, F. *Et Al*. *Wood And Cellulosics: Industrial Utilisation, Biotechnology, Structure And Properties*. Ellis Horwood Limited. Chichester: E. Horwood, P. 1130, 1987.
17. Nishiyama, Y., Langan, P., And Chanzy, H. (2002). Crystal Structure And Hydrogen-Bonding System In Cellulose I $\beta$  From Synchrotron X-Ray And Neutron Fiber Diffraction. *J Am Chem Soc* 124:9074–9082.
18. French, A.D., Santiago Cintrón, M. (2013). Cellulose Polymorphy, Crystallite Size, And The Segal Crystallinity Index. *Cellulose* 20:583–588.
19. Macrae, C. F., Bruno, I. J., Chisholm, J. A., Edgington, P. R., McCabe, P., Pidcock, E., Rodriguez-Monge, L., Taylor, R., Van De Streek, J., Wood, P. A. (2008). Mercury Csd 2.0 - New Features For The Visualization And Investigation Of Crystal Structures. *J Appl Cryst* 41:466–470.
20. Nam, S., French, A.D., Condon, B.D., And Concha, M. (2016). Segal Crystallinity Index Revisited By The Simulation Of X-Ray Diffraction Patterns Of Cotton Cellulose I $\beta$  And Cellulose Ii. *Carbohydr Polym* 135:1–9.
21. Segal, L., Creely, J.J., Martin, A.E., Conrad, C.M. (1959). An Empirical Method For Estimating The Degree Of Crystallinity Of Native Cellulose Using The X-Ray Diffractometer. *Text Res J* 29:786–794.
22. Langford, J.I., And Wilson, A.J.C. (1978). Scherrer After Sixty Years: A Survey And Some New Results In The Determination Of Crystallite Size. *J Appl Crystallogr* 11:102–113.

23. Scherrer, P. (1918). Bestimmung Der Grösse Und Der Inneren Struktur Von Kolloidteilchen Mittels Röntgenstrahlen. Nachrichten Von Der Gesellschaft Der Wissenschaften Zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse 26:98–100.
24. Agarwal, U. P.; Reiner, R. S.; Ralph, S. A. Cellulose I Crystallinity Determination Using Ft-Raman Spectroscopy: Univariate And Multivariate Methods. *Cellulose*, V. 17, N. 4, P. 721–733, 2010.
25. Bažant, Zdeněk P. Size Effect. *International Journal Of Solids And Structures*, V. 37, N. 1-2, P. 69-80, 2000.
26. Büyüksari, Ümit Et Al. Micro-Mechanical Properties Of Oak Wood And Comparison With Standard-Sized Samples. *Maderas. Ciencia Y Tecnología*, V. 19, N. 4, P. 481-494, 2017.
27. Schlotzhauer, P. Et Al. Effect Of Size And Geometry On Strength Values And MOE Of Selected Hardwood Species. *Wood Material Science & Engineering*, V. 12, N. 3, P. 149-157, 2017.
28. Büyüksari, Ümit Et Al. Comparison Of Micro-And Standard-Size Specimens In Evaluating The Flexural Properties Of Scots Pine Wood. *Bioresources*, V. 11, N. 4, P. 10540-10548, 2016.
29. Associação Brasileira De Normas Técnicas, ABNT, NBR 11941 - Madeira - Determinação Da Densidade Básica. Rio De Janeiro, 2003, 6p.
30. Associação Brasileira De Normas Técnicas, ABNT, NBR NM 52 Agregado Miúdo - Determinação Da Massa Específica E Massa Específica Aparente. Rio De Janeiro, 2009, 6p.
31. Beraldo, A. L. Compuestos De Biomasa Vegetal Y Cemento. Aprovechamiento De Residuos Agro-Industriales Como Fuente Sostenible De Materiales De Construcción, V. 1, Pp. 301-326, 2011.
32. Andreola, V.M.. Caracterização Física, Mecânica E Ambiental De Bio-Concretos De Bambu. 2017.100 F. Dissertação (Mestrado Em Ciências Em Engenharia Civil) – Universidade Federal Do Rio De Janeiro, Rj, 2017.
33. Andreola, V.M.; Toledo Filho, R. D. ; Gloria, M. Y. R.. Desenvolvimento De Biocompósitos Contendo Partículas De Bambu. In: Ii Congresso Luso-Brasileiro De Materiais De Construção Sustentáveis, 2016, João Pessoa. Desenvolvimento De Biocompósitos Contendo Partículas De Bambu, 2016.
34. Associação Brasileira De Normas Técnicas, ABNT, NBR 5739 Concreto - Ensaio De Compressão De Corpos-De-Prova Cilíndricos. Rio De Janeiro, 2007, 7p.
35. Associação Brasileira De Normas Técnicas, ABNT, NBR 8522 Concreto –Determinação Dos Módulos Estáticos De Elasticidade E De Deformação À Compressão. Rio De Janeiro, 2008, 20p.
36. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – Ipt. Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada. São Paulo: 1985. 189p. (Boletim ABPM, 36).
37. CLARKE, C. R. E.; GARBUTT, DAVID CF; PEARCE, J. I. L. L. Growth and wood properties of provenances and trees of nine eucalypt species. *Appita journal*, v. 50, n. 2, p. 121-130, 1997.
38. Sonsin, J.O. Gasson, P.E. Barros, C.F. Marcati, C.R.A. Comparison Of The Wood Anatomy Of 11 Species From Two Cerrado Habitats (Cerrado S.S. And Adjacent Gallery Forest). *Botanical Journal Of The Linnean Society*, V. 170, N. 2, P.257-276. 2012.
39. Iawa Bulletin. List Of Microscopic Features For Hardwood Identification. *Iawa Bulletin*, Utrecht, V.10(3), P.221-359, 1989.
40. Foelke, C. E. B. Estrutura Da Madeira. 85p. 1977. Disponível Em: <http://www.celsofoelke.com.br/artigos>.
41. Fuentes S., M. 1998. Propiedades Tecnológicas De Las Maderas Mexicanas, De Importancia En La Construcción. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, 4 (1): 221- 229 Pp.
42. Araiza, J. C. V. Y Quiñhones, J. G. R. .La Madera De Casuarina Equisetifolia L., Química E Índices De Calidad De Pulpa. *Madera Y Bosques* 6(1), P. 29 – 40, 2000.
43. Coli, A. Et Al. Propriedades De Chapas Fabricadas Com Partículas De Madeira De Paricá (*Schyzolobium Amazonicum Huber Ex. Ducke*) E Fibras De Coco(*Cocos Nucifera L.*) R. *Árvore, Viçosa-Mg*, V.34, N.2, P.333-338, 2010.
44. Alcantar, A. Q.. Caracterización Tecnológica De La Madera De *Juniperus Flaccida Var. Poblana Martínez*. Tesis Profesional – Universidad Autónoma Chapingo, División De Ciencias Forestales, S/A.
45. Klock, U. Et Al. Química Da Madeira. *Curitiba: Ufpr*, V. 3, 2005.
46. Poletto, Matheus; Zattera, Ademir J.; Santana, Ruth MC. Structural differences between wood species: evidence from chemical composition, FTIR spectroscopy, and thermogravimetric analysis. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 126, n. S1, p. E337-E344, 2012.

47. João Filho, A.M; Silva, F.A; Toledo Filho, R.D; Mattoso, K.H.C. Degradation Kinetics And Aging Mechanisms On Sisal Fiber Cement Composite Systems. *Cement & Concrete Composites* **2013**, (30-39).
48. Martin, A.R.; Martins, M.A; Da Silva, O.R.R.F; Mattoso, K.H.C; Studies On The Thermal Properties Of Sisal Fiber And Its Constituents. *Thermochimica Acta* **2010**, (14-19).
49. Ajuong, E.M.A., Birkinshaw, C. The Effects Of Acetylation On The Extractives Of Sitka Spruce [*Picea Sitchensis*] And Larch (*Larix Leptoleptis*) Wood. *Holz Als Roh - Und Werkst.* **2004**. 189–196. <https://doi.org/10.1007/s00107-004-0481-2>
50. Burket, C.L., Rajagopalan, R., Marencic, A.P., Dronvajjala, K., Foley, H.C. Genesis Of Porosity In Polyfurfuryl Alcohol Derived Nanoporous Carbon. *Carbon N. Y.* **2006**. 2957–2963. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2006.05.029>
51. Choura, M., Belgacem, N.M., Gandini, A. Acid-Catalyzed Polycondensation Of Furfuryl Alcohol: Mechanisms Of Chromophore Formation And Cross-Linking. *Macromolecules.* **1996**. 3839–3850. <https://doi.org/10.1021/ma951522f>
52. Oo, C.W., Kassim, M.J., Pizzi, A. Characterization And Performance Of Rhizophora Apiculata Mangrove Polyflavonoid Tannins In The Adsorption Of Copper (Ii) And Lead (Ii). *Ind. Crops Prod.* **2009**. 152–161. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.03.002>
53. Silverstein, R.M., Webster, F.X., Kiemle, D., Einholm, E.J. *Spectrometric Identification Of Organic Compounds*, 7th Ed. John Wiley & Sons, Hoboken. **2005**.
54. Song, C., Wang, T., Wang, X., Qiu, J., Cao, Y. Preparation And Gas Separation Properties Of Poly(Furfuryl Alcohol)-Based C/Cms Composite Membranes. *Sep. Purif. Technol.* **2008**. 412–418. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2007.05.019>
55. Tondi, G., Petutschnigg, A. Middle Infrared (Atr Ft-Mir) Characterization Of Industrial Tannin Extracts. *Ind. Crops Prod.* **2015**. 422–428. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.11.005>
56. Unsalan, O., Erdogan, Y., Gulluoglu, M.T. FT-Raman And FT-IR Spectral And Quantum Chemical Studies On Some Flavonoid Derivatives: Baicalein And Naringenin. *J. Raman Spectrosc.* **2009**. 562–570. <https://doi.org/10.1002/jrs.2166>
57. French, A. D. (2014). Idealized Powder Diffraction Patterns For Cellulose Polymorphs. *Cellulose* **21**:885–896.
58. Fonseca, A. S. Et Al. Main Characteristics Of Underexploited Amazonian Palm Fibers For Using As Potential Reinforcing Materials. *Waste And Biomass Valorization*, P. 1–18, **2018**.
59. Tonoli, G.H.D., Holtman, K.M., Glenn, G., Fonseca, A.S., Wood, D., Williams, T., Sa, V.A., Torres, L., Klamczynski, A., Orts, W.J. (2016). Properties Of Cellulose Micro/Nanofibers Obtained From Eucalyptus Pulp Fiber Treated With Anaerobic Digestate And High Shear Mixing. *Cellulose* **23**:1239–1256.
60. Agarwal, U. P.; Ralph, A. R. Ft-Raman Spectroscopy Of Wood: Identifying Contributions Of Lignin And Carbohydrate Polymers In The Spectrum Of Black Spruce (*Picea Mariana*). *Applied Spectroscopy*, V. 51, N. 11, P. 1648–1655, **1997**.
61. Besbes, I.; Vilar, M. R.; Boufi, S. Nanofibrillated Cellulose From Alfa, Eucalyptus And Pine Fibres: Preparation, Characteristics And Reinforcing Potential. *Carbohydrate Polymers*, V. 86, N. 3, P. 1198–1206, **2011**.
62. Agarwal, U. P.; Reiner, R. S.; Ralph, S. A. Cellulose I Crystallinity Determination Using Ft-Raman Spectroscopy: Univariate And Multivariate Methods. *Cellulose*, V. 17, N. 4, P. 721–733, **2010**.
63. Yang, C. Et Al. Flexible Highly Specific Capacitance Aerogel Electrodes Based On Cellulose Nanofibers, Carbon Nanotubes And Polyaniline. *Electrochimica Acta*, V. 182, P. 264–271, **2015**.
64. Agarwal, U. P. Raman Spectroscopy In The Analysis Of Cellulose Nanomaterials. P. 75–90, **2017**.
65. Associação Brasileira De Normas Técnicas, ABNT, NBR 1 7190- Projeto de Estruturas de Madeira. Rio De Janeiro, 1997, 107p.
66. Christoforo, A. L. et al. Estimative of wooden toughness by the apparent density and bending strength. *International Journal of Materials Engineering*, v. 4, n. 2, p. 49-55, **2014**.
67. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Informações sobre madeiras. IPT, 2017.
68. Rilem, L. Functional Classification Of Lightweight Concrete. *Springer Journal Collection*, V. 11, N. 64, Pp. 281 – 283, 1978.



© 2019 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**ARTIGO 2 – UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE CACTO *Cereus jamacaru* COMO  
AGREGADO NA PRODUÇÃO DE BIOCONCRETO LEVE**

## **Utilização da madeira de cacto *Cereus jamacaru* como agregado na produção de bioconcreto leve**

*Use of cactus wood *Cereus jamacaru* as aggregate in lightweight bioconcrete production*

Silveira, M. N. L. (1); Menali, L. O. (1); Gloria, M. Y. R. (2); Filho, R. D. T. (3); Ferreira, S. R. (4)

(1) Departamento de Engenharia, UFLA

(2) Mestre, Departamento COPPE/Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRJ

(3) Professor Doutor, Departamento COPPE/Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRJ

(4) Professor Doutor, Departamento de Engenharia, UFLA

Endereço para correspondência: [mariana.nalisi@gmail.com](mailto:mariana.nalisi@gmail.com)

### **Resumo**

A presente pesquisa objetivou o desenvolvimento e caracterização de bioconcretos leves produzidos com madeira proveniente de fonte lignocelulósica alternativa. A madeira de Cacto *Cereus jamacaru* foi utilizada. Para sua utilização um tratamento com lavagens em água quente (80°C) foi realizado. Na matriz estudada foi utilizado Cimento Portland CP V- ARI com relação água: cimento de 0,4 e 3% (em relação a massa de cimento) de cloreto de cálcio. Foram produzidos bioconcretos com partículas de madeira classificadas como esverdeadas e amarronzadas. Para cada tipo de partícula foram desenvolvidos traços variando a porcentagem de água de compensação (100 e 200%), o relação cimento-madeira (3,4 and 7) e o método de adensamento (com soquete ou não). A caracterização das misturas no estado fresco foi realizada através do ensaio de espalhamento (flow table). Os corpos de prova foram submetidos à cura úmida (21°C e UR=100%) e ensaiados com idade de 28 dias. A caracterização no estado endurecido foi realizada através de ensaio de compressão uniaxial, cálculo do módulo de elasticidade (NBR 8522) e determinação da densidade aparente dos compósitos. As misturas com partículas esverdeadas atingiram entre 872,5 e 1347,1 kg/m<sup>3</sup> de densidade e entre 1,72 e 8,94 MPa de resistência à compressão. A densidade dos compósitos com as partículas marrons variou de 997,4 a 1451,6 kg/m<sup>3</sup> e a resistência a compressão de 3,38 a 10,51 MPa. Os compósitos podem ser classificados como bioconcretos leves, pois apresentaram uma densidade menor do que 1800 kg/m<sup>3</sup>. Pode-se concluir que a madeira de cacto *Cereus jamacaru* pode ser utilizada como uma fonte lignocelulósica alternativa na produção de bioconcretos que poderão encontrar diversas aplicações no setor da construção civil.

*Palavra-Chave: Concreto leve; Bioconcreto; Madeira de Cacto; Sustentabilidade; Construção Civil.*

### **Abstract**

The present research aimed at the development and characterization of light bioconcretos produced with wood from an alternative lignocellulosic source. The cactus wood *Cereus jamacaru* was used. For its use a treatment with washes in hot water (80°C) was carried out. In the studied matrix was used Portland cement CP V-ARI with relation water: cement of 0.4 and 3% (in relation to the cement mass) of calcium chloride. Bioconcretos were produced with wood particles classified as greenish and browned. For each type of particle, traces were developed varying the percentage of compensation water (100 and 200%), cement-to-wood ratio (3,4 and 7) and moulding method (compacting with metal rod or not). The characterization of the fresh mixtures was performed through the flow table. The specimens were submitted to humid curing (21° C and UR = 100%) and tested at age 28 days. The characterization in the hardened state was performed by uniaxial compression test, elastic modulus calculation (NBR 8522) and determination of the apparent density of the composites. The blends with greenish particles reached between 872 and 1347 kg / m<sup>3</sup> of density and between 1.72 and 8.94 MPa of compressive strength. The density of the composites with the brown particles varied from 892 to 1452 kg / m<sup>3</sup> and the compressive strength of 3.38 to 10.51 MPa. It can be concluded that *Cereus jamacaru* cactus wood can be used as an alternative lignocellulosic source in the production of bioconcretos that can find several applications in the civil construction sector.

*Keywords: Lightweight concrete; Bioconcrete; Cactus Wood; Sustainability; Construction.*



## 1 Introdução

De acordo com Gloria (2015), a indústria da construção civil é uma das grandes geradoras de resíduos e a maior consumidora de recursos naturais, sendo, portanto, urgente a busca por novos recursos e tecnologias que causem uma menor agressão ao ambiente. Nesse contexto insere-se a utilização de fontes lignocelulósicas alternativas para o desenvolvimento de materiais não convencionais que atendam as necessidades desse setor em termos de impacto ambiental (MESQUITA, 2015; SOLTAN, 2017). As principais vantagens desses materiais lignocelulósicos são o aprisionamento de carbono, dependendo da aplicação e o fato de serem renováveis.

Os cactos, gênero *Cactaceae*, se apresentam como uma fonte lignocelulósica inovadora na construção civil uma vez que segundo Takane et. al (2009) os principais usos dessas espécies são para ornamentação (vasos, terrários e plantas para paisagismo), produtos medicinais, cosméticos e em locais de clima muito severo são utilizados para alimentação animal e como cerca viva. A principal vantagem dessas plantas são o fácil cultivo e manejo uma vez que sobrevivem a regiões de estresse com altas temperaturas, déficit hídrico e baixa umidade, o que serviu de motivação para que hoje existam muitos produtores mundiais e brasileiros dessas espécies (TAKANE et. al, 2009).

Os compósitos cimentícios de biomassa vegetal são constituídos basicamente de aglomerantes minerais combinados com agregados vegetais (bioagregados) e outros aditivos (BERALDO, 2011). O autor ainda afirma que as principais vantagens do uso desses compósitos são a grande disponibilidade de matéria prima, que é renovável e a baixa massa específica final do produto, estando entre 400 a 1500 kg/m<sup>3</sup>. Outras vantagens são a resistência aos agentes biodegradadores, a boa estabilidade dimensional permitindo o emprego desses materiais em ambientes externos sem recorrer a proteções, a resistência a impactos e o fato de possuírem propriedades termo acústicas mecânicas satisfatórias. De acordo com Beraldo (1997), em muitas aplicações, esses materiais substituem com eficiência os materiais convencionais utilizados na construção, apresentando desempenho técnico, por vezes, superiores a eles.

Um desafio na produção dos compósitos cimentícios com materiais lignocelulósicos, que podem ser chamados de bioconcretos, é a incompatibilidade química entre o cimento e a biomassa vegetal que pode levar ao retardo/inibição das reações de hidratação do cimento. Segundo Simantupang et al. (1978), os extrativos presentes na madeira são os principais responsáveis por esse impedimento da solidificação do cimento. Beraldo (2011) explica que não se pode adicionar nenhuma espécie vegetal no seu estado natural ao cimento, uma vez que os constituintes químicos da planta são muito sensíveis ao meio alcalino da matriz de cimento e salienta a importância e eficácia de se aplicar tratamentos preliminares na planta aliados ao uso de aceleradores de pega. Em seus estudos obteve resultados de endurecimento satisfatórios utilizando Cimento Portland CPV-ARI, adição de 3% de cloreto de cálcio e amostras previamente lavadas com água quente para redução dos extrativos.

A relação água: cimento é uma variável de extrema influência na resistência do bioconcreto e segundo Andreola (2017) a hidratação do cimento ocorrerá completamente somente se essa relação for maior que 0,38. Por causa da alta absorção de água da biomassa, é importante ter água suficiente para manter as fibras saturadas, permitir a hidratação do cimento e também para garantir a consistência do bioconcreto. Outro fator importante a ser analisado na produção de bioconcretos é a granulometria do material lignocelulósico que será utilizado bem como o formato das partículas. Beraldo (1997) verificou a falta de aderência entre o bambu e a pasta de cimento quando são utilizados colmos inteiros de bambus de grande diâmetro, que não apresentam as brotações laterais. Latorraca (2000), concluiu que a granulometria tem influência significativa até mesmo no tempo de pega e solidificação do cimento.

Diante o exposto, a presente pesquisa objetivou o desenvolvimento e caracterização físico-mecânica de bioconcretos leves produzidos através da utilização de madeira de cacto como bioagregado a fim de verificar a possibilidade de uso como matéria-prima alternativa na construção civil.

## 2 Materiais e métodos experimentais

### 2.1 Bioagregado

A madeira de cacto utilizada foi da espécie *Cereus jamacaru* da cidade de Barueri - São Paulo, Brasil. As amostras foram obtidas da base de uma árvore adulta com três anos de idade por corte manual. Foi observado que o Mandacaru, nome popular da espécie, originou fragmentos de madeira com diferentes aspectos a depender da posição no caule de onde eram extraídos. Para produção dos compósitos tomou-se o cuidado de separar os de coloração esverdeada escura (fragmentos escuros com maior proximidade às folhagens do cacto) daqueles que possuíam coloração mais amarronzada (fragmentos claros advindos de uma região mais interna do tronco).



Figura 1 - Comparação entre os fragmentos marrons claros (à direita) dos fragmentos esverdeados escuros (à esquerda)

Os fragmentos foram reduzidos a menores dimensões com auxílio de um moinho martelo e todas as partículas geradas cujo comprimento ultrapassou três vezes o valor do diâmetro foram descartadas devido ao possível prejuízo de aderência que as mesmas podem gerar no compósito final.



Figura 2 – Partículas descartadas esverdeadas (à direita) e amarronzadas (à esquerda).

Com as partículas restantes foi realizada uma análise granulométrica para melhor entendimento da dimensão das partículas pós-moagem.

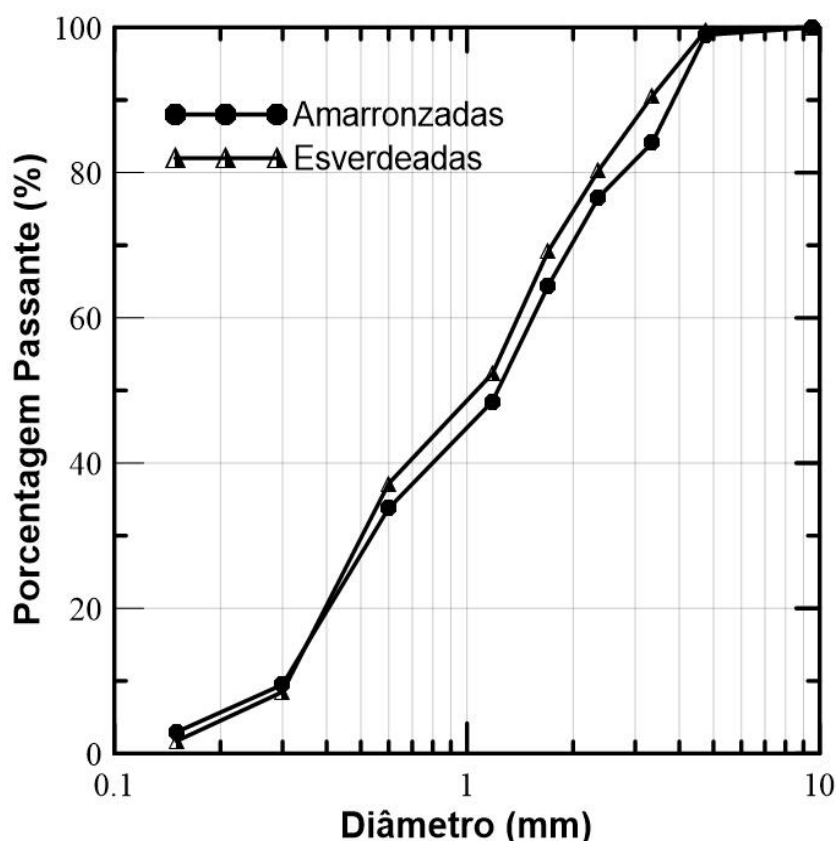


Figura 3 – Curvas granulométricas para partículas esverdeadas e amarronzadas.

Para determinação da quantidade de lavagens necessárias para redução dos extrativos foi realizado um experimento de ciclos de lavagens. Com um Agitador Magnético com Aquecimento da marca IKA e modelo C-MAG HS 7, um Termômetro

Eletrônico de Contato, também da marca IKA e modelo ETS-D5 e dois béqueres com capacidade de 500 mL foi montado o sistema da figura a seguir:



Figura 4 – Esquema para realização do ciclo de lavagens das partículas de Cacto.

Foram adicionados 300 ml de água destilada e 5 g de partículas de cacto ao béquer. A água era mantida a 80° C durante uma hora, sua coloração final registrada e então se iniciava um novo ciclo. Os ciclos foram repetidos até que se notou que a água ao final da lavagem estava limpa.

Para caracterizar fisicamente o bioagregado foi realizado ensaio de densidade básica e absorção de água da madeira (NBR 11941/ABNT 2003) pré-moagem e ensaios de massa específica aparente (NM 52/2009) e teor de umidade (NM 9939/2011) pós-moagem. Os resultados para os dois tipos de partículas (esverdeadas e amarronzadas) foram próximos o suficiente para serem considerados iguais e estão expressos na tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização física do bioagregado *Cereus Jamacaru*.

<b>Densidade básica (kg/m<sup>3</sup>)</b>	340
<b>Absorção de água (%)</b>	199
<b>Teor de umidade (%)</b>	6,3
<b>Massa esp. aparente (kg/m<sup>3</sup>)</b>	250

## 2.2 Aglomerante e aditivo

Foi utilizado como aglomerante o Cimento Portland CP V – ARI (cimento de alta resistência inicial). A composição química e a densidade do cimento são apresentadas na tabela a seguir:





Tabela 2 – Composição química e densidade do CP V – ARI (ANDREOLA et al. (2016))

<b>Composição química</b>	<b>CP V – ARI</b>
CaO	70,140%
SiO <sub>2</sub>	15,475%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,870%
SO <sub>3</sub>	4,207%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,458%
K <sub>2</sub> O	1,028%
SrO	0,407%
TiO <sub>2</sub>	0,244%
MnO	0,138%
CuO	0,016%
ZnO	0,015%
<b>Densidade</b>	<b>3170 kg/m<sup>3</sup></b>

Para acelerar a pega do cimento adicionou-se 3% (com relação à massa de cimento) de cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>) às misturas.

## 2.3 Bioconcretos

A tabela 3 mostra as relações mássicas cimento: madeira utilizadas para produção dos bioconcretos de cacto (BC). As letras L e F indicam o tipo de partícula utilizada, sendo L para as amarronzadas e F para as mais esverdeadas. Para todas as misturas a relação água: cimento (A/C) usada foi de 0,4.

A definição dessas composições foi dada da seguinte maneira: para as misturas BCL 100, BCL 200 e BCF 200 foi fixado o consumo de cimento e o volume de madeira seguindo Andreola (2017). A variação na água de compensação teve como objetivo avaliar a real necessidade de sua colocação diante à absorção de madeira obtida (quase 200%, com relação à massa de madeira) e a trabalhabilidade desejada; para as misturas BCL 3, BCF 3 e BCL 4, foi utilizado 200% de água de compensação (com relação à massa de madeira) e foi fixado a relação mássica cimento: madeira seguindo os resultados obtidos por da Glória (2015) e os números 3 e 4 indicam essa relação.

Tabela 3 – Composição das misturas

Mistura	Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Volume de madeira (%)	Relação Mássica				
			Cimento	Madeira	Água	Água de compensação	CaCl <sub>2</sub>
<b>BCL 100</b>	775,000	45	1	0,145	0,4	0,145	0,03
<b>BCL 200/ BCF 200</b>	775,000	45	1	0,145	0,4	0,290	0,03
<b>BCF3</b>	488,093	65,1	1	0,333	0,4	0,667	0,03
<b>BCL4/ BCF4</b>	582,935	58,3	1	0,250	0,4	0,500	0,03

Os bioconcretos de cacto (BC) foram produzidos em uma argamassadeira planetária, com cuba de 5 litros de capacidade e batedor em aço inoxidável. Inicialmente misturou-se a água com o cloreto de cálcio em recipiente reservado formando uma solução homogênea. O cimento e as partículas de madeira também foram misturados separadamente sendo os primeiros a serem colocados no equipamento. Em baixa velocidade de rotação (136 rpm), durante o primeiro minuto, adicionou-se gradativamente, a solução líquida na argamassadeira. Interrompeu-se então o giro para desprendimento manual do material que se prendia às paredes da argamassadeira. O conjunto todo foi misturado por mais 3 minutos e repetia-se o processo de desprendimento das paredes. Nesse intervalo é que se misturava a água de compensação. Finalmente misturou-se por mais 1 minuto para atingir uma boa homogeneidade na mistura.

Foram produzidos corpos de prova cilíndricos de 5 x 10 cm (diâmetro e altura). O preenchimento dos moldes foi realizado em três camadas, e variou-se o tipo de compactação: manual com 15 golpes por camada (BCL/BCF 200 e BCL 100) e mesa vibratória (BCL 3, BCF 3 e BCL 4). Os moldes foram protegidos contra a perda de umidade até a desmoldagem, o que aconteceu 24 horas depois. Por fim, os corpos de prova foram colocados em câmara úmida a 20°C (± 2°C) e umidade de 95% (± 2%) até atingirem idade de 28 dias.

Durante a produção dos compósitos foi observado que não houve segregação ou exsudação entre as misturas e que a aderência entre a madeira e os demais componentes foi ideal (ver Figura 5).

No estado fresco foi avaliada a propriedade de índice de consistência das misturas através do ensaio de espalhamento (*flow table test*). O resultado final para cada mistura foi obtido a partir da média entre os diâmetros alcançados (Figura 5).



Figura 5 - Ensaio de espalhamento (*flow table test*).

Com base na norma brasileira NBR 5739 (ABNT 2007), o teste de compressão foi realizado após 28 dias em uma máquina universal modelo Shimadzu-1000 KN. A velocidade de ensaio foi de 0,3 mm/min e os deslocamentos verticais foram obtidos a partir da leitura média de dois LVDTs. Para cada mistura, três corpos de prova cilíndricos foram ensaiados. Foi também determinada a densidade aparente dos bioconcretos e o módulo de elasticidade, este último segundo as prescrições da norma NBR 8522 (ABNT 2008).

### 3 Resultados

#### 3.1 Redução dos Extrativos

Observa-se uma variação gradual da coloração da água com a lavagem em água quente deionizada. A mudança de cor (Figuras 6 e 7) é perceptível em cada um dos ciclos e pode ser explicada pela redução dos extrativos vegetais da biomassa. Também é possível observar que a remoção dos extrativos acontece principalmente durante os três primeiros ciclos de lavagem uma vez que a diferença de coloração entre a terceira e a quarta água residual não foi significativa.

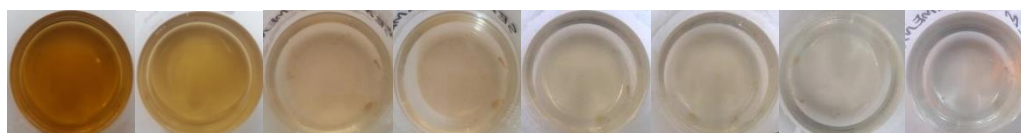


Figura 6 - Comparação da coloração da água ao final de cada ciclo de lavagem para as partículas esverdeadas.



Figura 7 - Comparação da coloração da água ao final de cada ciclo de lavagem para as partículas amarronzadas.

Com o experimento do ciclo de lavagens ficou estabelecido que as partículas devem ser submetidas a 3 ciclos de lavagens antes de serem utilizadas para a produção do bioconcreto.

### 3.2 Propriedade do estado fresco

As pastas atingiram boa trabalhabilidade como pode ser conferido analisando os resultados da tabela 4.

Tabela 4 – Resultado do ensaio de espalhamento

Mistura	BCL 100	BCL 200	BCF 200	BCL 4	BCF 4	BCF 3
Índice de consistência (mm)	225	282,5	298,5	287,5	257,5	222,5

### 3.3 Propriedades no estado endurecido

Após 24 horas de sua produção os corpos de prova foram desmoldados e foi possível perceber uma boa homogeneidade das partículas na matriz cimentícia (Figura 8).



Figura 8 – Homogeneidade dos bioconcretos. Vista do topo de um CP (à direita) e vista interna (corte transversal) (à esquerda).

Após 28 dias de idade os BC foram então submetidos ao ensaio de compressão uniaxial e com os dados gerados foi possível gerar gráficos de tensão – deformação axial para as misturas.



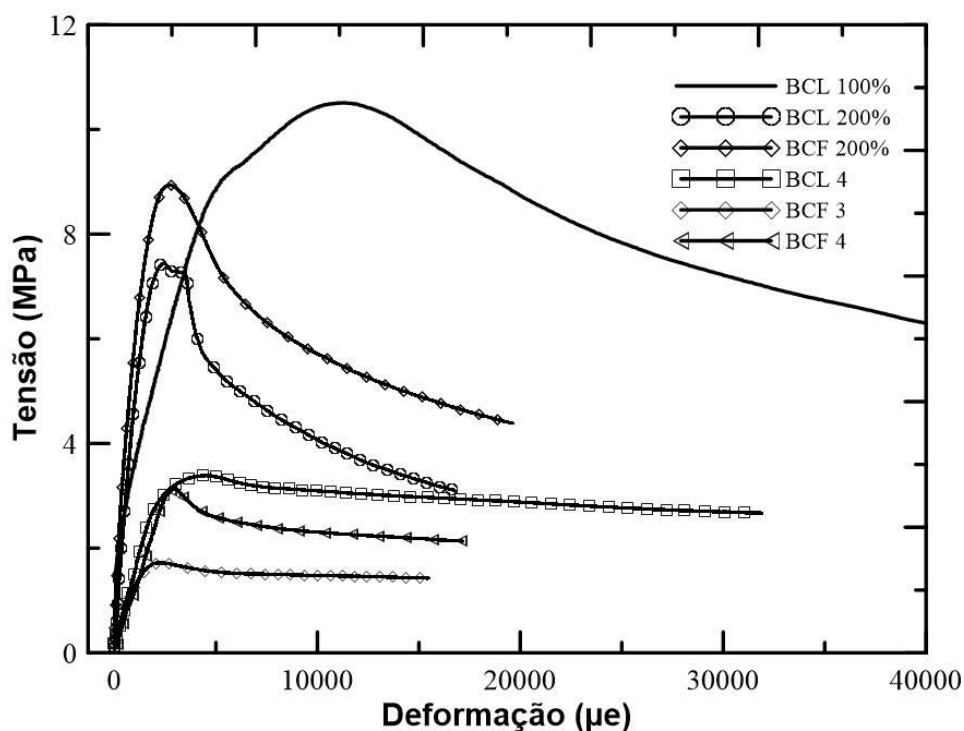


Figura 9 – Curvas típicas tensão – deformação axial dos BC.

Os valores da máxima resistência atingida bem como o módulo de elasticidade e a densidade dos bioconcretos estudados estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Propriedades dos bioconcretos no estado endurecido

Mistura	Resistência (MPa)	E (GPa)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
<b>BCL 100</b>	10,51	11,52	1451,60
<b>BCL 200</b>	7,44	10,30	1284,00
<b>BCF 200</b>	8,94	11,98	1347,10
<b>BCL 4</b>	3,39	2,55	997,40
<b>BCF 3</b>	1,72	2,30	872,50
<b>BCF 4</b>	3,14	2,03	999,60

## 4 Discussão

### 4.1 Extrativos



Os compósitos com madeira de cacto e cimento estudados foram desmoldados com um dia de idade indicando que o tratamento de lavagens utilizado, bem como a adição de cloreto de cálcio e a utilização de cimento CP V- ARI foram eficazes na prevenção de retardo/inibição das reações de hidratação do cimento.

## 4.2 Índice de Consistência

As misturas BCF 200 e BCL 200 com 200% de água de compensação e consumo de cimento fixado e a mistura BCL 4 com relação cimento: madeira de 1:0,25 atingiram melhor trabalhabilidade, tendo os valores de espalhamento ficado entre 282,5 e 298,5 mm. Esse resultado indica que a maior quantidade de madeira nas misturas influenciou negativamente a trabalhabilidade.

## 4.3 Densidade aparente dos bioconcretos

Os bioconcretos com partículas esverdeadas atingiram entre 872,5 e 1347,1 kg/m<sup>3</sup> de densidade aparente enquanto que a densidade dos bioconcretos com as partículas amarronzadas variou de 997,4 a 1451,6 kg/m<sup>3</sup>. Os compósitos produzidos podem ser classificados, segundo Rilem (1978), como materiais leves, pois apresentaram uma densidade menor do que 1800 kg/m<sup>3</sup>. As variáveis determinantes para obtenção de menores densidades foram a maior quantidade de água e de madeira de cacto adicionadas e há indícios nos resultados (análise BCL 200 *versus* BCF 200; BCL 4 *versus* BCF 4) de que para misturas semelhantes com tipos de partículas diferentes as amarronzadas resultam em bioconcretos com menores densidades.

## 4.4 Resistência à compressão e Rigidez

Com a curva de tensão *versus* deformação gerada foi possível observar que os compósitos apresentaram um comportamento linear elástico inicial, seguindo-se por uma região de não linearidade acentuada até atingir a tensão máxima. O aspecto arredondado da curva pode ser explicado pela microfissuração pré-ruptura do bioconcreto que aumenta as deformações registradas pelos LVTD's.

Como já era esperado, as misturas com maiores consumo de cimento e menores quantidades de água de compensação atingiram maior resistência à compressão e o MOE acompanhou essa tendência.

As misturas com partículas esverdeadas atingiram entre 1,72 e 8,93 MPa de resistência à compressão e as amarronzadas entre 3,38 e 10,51 MPa. Não há dados que mostrem qualquer tendência em relação à máxima tensão atingida variando-se apenas o tipo de partícula.

Os corpos de prova com consumo fixo de 775 kg/m<sup>3</sup> (BCL 100, BCL 200 e BCF 200) atingiram melhor relação resistência/densidade e maior rigidez, ou seja, menores



deformações para uma dada solicitação, que é propriedade de grande interesse na engenharia civil. Analisando os resultados das misturas BCL 100 e BCL 200 observa-se que reduzindo a água de compensação pela metade o bioconcreto teve um ganho pequeno de densidade, aumento do MOE, um ganho significativo de resistência e uma grande perda de trabalhabilidade.

Para o mesmo traço de BCF 3 - no qual foi possível obter 1,72 MPa de resistência, 2,30 GPa de MOE e 872,5 kg/m<sup>3</sup> de densidade- da Gloria (2015) obteve, utilizando serragem de madeira, 15,97 MPa de resistência, 4,03 GPa de MOE e 1250 kg/m<sup>3</sup> de densidade. Andreola et. al. (2016) estudaram bioconcretos com partículas de bambu e obtiveram 12,01 MPa de resistência, 4,03 GPa e 1157 kg/m<sup>3</sup> de densidade. Esses dados mostram que para essa metodologia de cálculo de traço os compósitos com madeira de cacto apesar de menos resistentes tem como principal diferencial a baixa densidade que conseguem atingir e o fato de manterem uma rigidez relativamente alta. A comparação com os resultados do estudo de Beraldo (1997), que também trata da produção de um compósito cimentício com partículas de bambu corroboram com a análise anterior.

O traço das misturas BCL 200 e BCF 200 - cujos resultados são respectivamente: 7,44 MPa para máxima resistência, 10,29 GPa de MOE, densidade de 1284 kg/m<sup>3</sup> e espalhamento 282,5 mm; 8,93 MPa para máxima resistência, 11,98 GPa de MOE, densidade de 1347,1 kg/m<sup>3</sup> e espalhamento 298,5 mm - são semelhantes ao de Andreola (2017) que trabalhando com partículas de bambu obteve máxima resistência de 4,2 MPa, MOE de 2,35 GPa e 788,47 kg/m<sup>3</sup> de densidade e 285 mm de espalhamento. Esses resultados mostram que na fixação do consumo de cimento o bioconcreto de cacto obteve melhores propriedades que o bambu o que se deve provavelmente a grande quantidade de finos presentes na mistura que reduziu a quantidade de vazios, densificou a mistura e trouxe como consequência o aumento das demais propriedades.

## 5 Conclusões

O tratamento das partículas de madeira de cacto aliado ao uso do Cimento Portland CPV-ARI e à adição de cloreto de cálcio foram eficazes na garantia da hidratação do cimento e no endurecimento dos bioconcretos.

As misturas com os maiores consumo de cimento e com 200% de água de compensação apresentaram melhor trabalhabilidade que as demais.

Há indícios nos resultados de que para misturas semelhantes (mesmo traço) as partículas esverdeadas resultam em bioconcretos com maiores densidades. Não foi observada, no entanto, uma tendência para a Resistência à compressão com relação ao uso das partículas (esverdeadas e amarronzadas).



Anais do  
60º Congresso Brasileiro do Concreto  
CBC2018  
Setembro / 2018



@ 2018 - IBRACON - ISSN 2175-8182

Os corpos de prova com consumo fixo de 775 kg/m<sup>3</sup> atingiram melhor relação resistência/densidade e maior rigidez e no geral observou-se que os bioconcretos com maior resistência apresentaram maiores valores de MOE.

Finalmente, o objetivo de produzir bioconcretos leves foi atingido dada a baixa densidade final dos produtos. Além disso, boas propriedades físicas, mecânicas e de trabalhabilidade (propriedades de interesse na construção civil) foram atingidas podendo-se concluir que a madeira de cacto pode ser utilizada como uma fonte lignocelulósica alternativa na produção de bioconcretos para utilização em diversos fins no setor da indústria da construção civil.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Unidade Experimental de Painéis de Madeira e o Laboratório de Nanotecnologia da Universidade Federal de Lavras e o Laboratório de Estruturas e Materiais Lobo Carneiro da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

## Referências

ANDREOLA, V.M.; TOLEDO FILHO, R. D. ; GLORIA, M. Y. R.. **Desenvolvimento de biocompósitos contendo partículas de bambu**. In: II Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, 2016, João Pessoa. Desenvolvimento de biocompósitos contendo partículas de bambu, 2016.

ANDREOLA, V.M.. **Caracterização física, mecânica e ambiental de bioconcretos de bambu**. 2017.100 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2017.

BERALDO, A. L.. **Bambu-cimento: alternativa para construções rurais. Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**, v. 1, p. 145-50, 1997.

BERALDO, A. L. **Compuestos de biomasa vegetal y cemento. Aprovechamiento de residuos agro-industriales como fuente sostenible de materiales de construcción**, v. 1, pp. 301-326, 2011.

GLORIA, M. Y. R. da.. **Desenvolvimento e caracterização de painéis sanduíches de Concreto com núcleo leve e faces em laminados reforçados com fibras longas de sisal**. 2015.133 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2015.

LATORRACA, J. V. D. F.. **Eucalyptus spp. na produção de painéis de cimento-madeira. Tese de Doutorado, Departamento de Ciências Agrárias**, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.



Anais do  
60º Congresso Brasileiro do Concreto  
CBC2018  
Setembro / 2018



@ 2018 - IBRACON - ISSN 2175-8182

MENDES, L. M., LOSCHI, F. A. P. L., DE RAMOS, L. E., et al. **Potencial de utilização da madeira de clones de Eucalyptus urophylla na produção de painéis cimento-madeira**, Cerne, v. 17, n. 1, pp. 69-75, 2015.

MESQUITA, R.G.A.; MENDES, L.M.; MENDES, R.F.; TONOLI, G.H.D.; MARCONCINI, J. M.; **Inclusão de feixes de sisal na produção de painéis MDP de eucalipto**. Scientia Forestalis (IPEF) v.43, p.1-8, 2015.

RILEM, L.. **Functional classification of lightweight concrete**. Springer journal collection, v. 11, n. 64, pp. 281 – 283, 1978.

SIMATUPANG, M. H.; SCHWARZ, G. H.; BROKER, F. W. **Small scale plants for the manufacture of mineral-bonded wood composites**. In: WORLD FORESTRY CONGRESS, 8., 1978, Indonesia. Proceedings, Indonesia, 1978.

SOLTAN, D.G.; das NEVES, P.; OLVERA, A.; SAVASTANO Junior, H.; LI, V.C.; **Introducing a Curauá fiber reinforced cement-based composite with strain-hardening behavior**. Industrial Crops and Products, v. 103, p.1-12, 2017.

TAKANE, R. J.; PIVETTA, K. F. L.; YANAGISAWA, S. S.. **Cultivo técnico de cactos & suculentas ornamentais**. GrafHouse, 2