

Incorporação de fibra de coco na camada de revestimento asfáltico de pavimentos flexíveis

Incorporation of coconut fiber into the asphalt coating layer of flexible pavements

Waleskha Benevenuto Pinto Neves¹  orcid.org/0000-0001-9002-4863

Marília Cavalcanti Santiago²  orcid.org/0000-0002-0267-2842

Cláwsio Rogério Cruz de Sousa³  orcid.org/0000-0002-2778-5202

Shirlene Kelly Santos Carmo⁴  orcid.org/0000-0002-7198-9114

^{1,2,3} Departamento de Engenharias e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil,

⁴ Departamento de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil.

E-mail do autor principal: Shirlene Carmo shirlene@ufersa.edu.br

Resumo

O desafio de projetar um pavimento resistente, visa conceber uma obra de engenharia que cumpra as demandas estruturais e funcionais. Com isso, esse trabalho objetivou a incorporação da fibra de coco na camada de revestimento asfáltico para ganho de resistência desta à compressão e contribuir para a redução dos índices de desperdício do coco, visto que este material caracteriza-se como lignocelulósico, por ser constituído especialmente, por celulose, hemicelulose e a lignina, que proporcionam resistência a estrutura deste material. Em resultados principais, a fibra apresentou em torno de 28% de lignina, componente responsável pela resistência. A partir dos ensaios granulométrico e de compressão, pôde-se observar que a fibra de coco se encontra como material aplicável à incorporação em traço asfáltico para ganho de resistência e custo econômico reduzido.

Palavras-Chave: Material lignocelulósico; Asfalto; Resistência; Meio ambiente; Sustentabilidade.

Abstract

The challenge of designing a resistant floor, aims to conceive an engineering work that meets the structural and functional demands. Thus, this work aimed to incorporate coconut fiber into the asphalt coating layer to gain compressive strength and contribute to the reduction of coconut waste rates to the environment, since this material is characterized as lignocellulosic, as it consists of especially by cellulose, hemicellulose and lignin, which provide resistance to the structure of this material. In main results, the fiber presented around 28% of lignin, a component responsible for the resistance. From the granulometric and compression tests, it was observed that coconut fiber is found as a material applicable to the incorporation in asphalt mix for strength gain and reduction of production cost.

Key-words: Lignocellulosic material; Asphalt; Resistance; Environment; Sustainability.

1 Introdução

O coco verde, em especial, é utilizado para o consumo da água, devido aos seus benefícios funcionais. Este consumo vem crescendo no Brasil, representando de 100 a 350 milhões de litros/ano. O coco é composto por mesocarpo, embrião, copra, epicarpo, endocarpo e a água de coco. A parte fibrosa é o nome dado ao material fibroso que constitui o mesocarpo do fruto [1].

Segundo Rosa *et al.* e Brito *et al.* o aumento do consumo de água de coco traz consigo problemas relacionados à destinação final das cascas, que representam de 80 a 85% do peso bruto do fruto [2][3]. Esse descarte inadequado transforma-se em um sério problema quando é feito em ambiente com condições anaeróbicas para produção de gás metano, um dos gases mais importantes para o aumento do efeito estufa. A obtenção da fibra e pó do coco descartado através da trituração, é considerada uma forma de reaproveitamento e agregação de valor ao resíduo, principalmente quando incorporado ao solo [4].

O aproveitamento da fibra do coco verde ocorre na maioria das vezes em paisagismo e jardinagem, pela sua excelente adaptação na forma de vasos devido à sua alta porosidade, facilitando assim o enraizamento [5]. Outras aplicações também são vistas no setor moveleiro, têxtil, calçadista, design de objetos para lar, papelaria, construção civil e mantas industriais [4].

As fibras extraídas do mesocarpo do coco são classificadas como lignocelulósicas, compostas basicamente por lignina, hemicelulose e celulose que lhe proporcionam elevados índices de rigidez [6]. Estes altos índices de rigidez encontrados na fibra do coco, podem proporcionar aumentos significativos na resistência à compressão da camada de revestimento aplicada na pavimentação.

A pavimentação é definida como uma estrutura de camadas finitas, construída sobre a superfície de terraplanagem, destinada a resistir aos esforços provenientes do tráfego de veículos e, assegurando aos usuários boas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança [7].

O material utilizado para o revestimento da pavimentação deve atender alguns requisitos normatizados para a definição de sua dosagem possuir, em função das espessuras calculadas

segundo o volume de tráfego característico do trecho a ser pavimentado e do tipo de materiais que constituem as demais camadas [7]. O uso do ligante asfáltico na camada de revestimento deve-se às suas propriedades adesivas, seu comportamento termo viscoelástico, sua impermeabilidade à água e sua durabilidade [8].

Apesar da realização de alguns processos de reutilização da casca, oriunda do elevado consumo de água de coco, as taxas de desperdício ainda se apresentam muito altas. Nesse contexto, o trabalho em questão se propõe a estudar a utilização da fibra do coco como agregado asfáltico para aumentar a resistência da camada de revestimento na pavimentação. Bem como apresentar uma alternativa para melhorar o índice de aproveitamento do fruto produzido na região, assim como, reduzir custos do revestimento asfáltico.

2 Metodologia

O procedimento experimental foi realizado conforme o fluxograma apresentado na Figura 1.

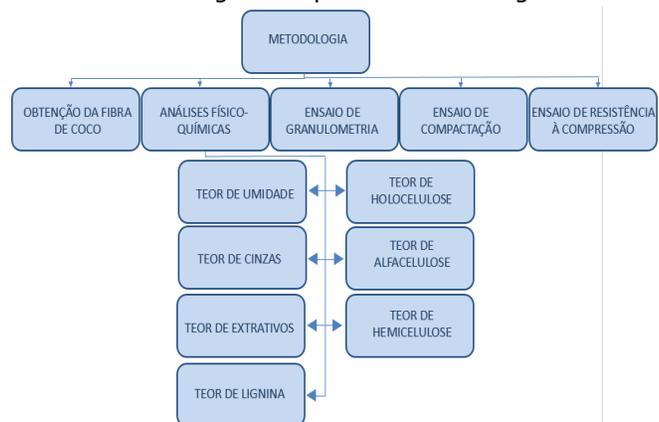


Figura 1: Fluxograma de metodologia desenvolvida

2.1 Obtenção da fibra do coco in natura e Tratamento físico

As cascas do coco verde foram doadas por estabelecimentos que comercializam a água de coco, localizados no município de Pau dos Ferros-RN.

Esse resíduo em geral é descartado no lixão da cidade. O material foi cortado em pedaços e sanitizados em solução de hipoclorito de sódio (NaClO) na concentração de 100 ppm por 15 min, e,

em seguida, foram submetidas a secagem em estufa, até peso constante, na temperatura de 105 °C (Figura 2). Em seguida, utilizou-se uma forrageira elétrica para triturar o material, e, com o uso de peneiras, obteve-se o pó das cascas (Figura 3).



Figura 2. Cascas do coco em secagem



Figura 3. Pó do coco obtido pela forrageira

2.2 Análises Físico-Químicas

Para caracterizar o material quanto a sua composição e propriedades físico-químicas, foram realizadas análises de acordo com metodologia apresentada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA [9].

A caracterização físico-química do material, tem como principal intuito, verificar a qualidade e composição centesimal do material, buscando especificidades que atendam a sua incorporação nesse estudo.

2.3 Ensaio Granulométrico

O ensaio de granulometria foi realizado para todos os agregados utilizados no traço do asfalto, como: a areia, a brita e a fibra de coco. O ensaio foi realizado conforme a Norma Brasileira – NBR, NM 248:2001 [10]. No primeiro momento, foi realizado o ensaio

para a fibra de coco, utilizando a série normal de peneiras estabelecida pela NM 248:2001, com os seguintes diâmetros: 9,5 mm; 6,3 mm; 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 600 µm; 300 µm; 150 µm; fundo (Figura 4).



Figura 4: Peneiras utilizadas no ensaio granulométrico

Neste ensaio foram utilizados 300 gramas do material. Após a agitação das partículas sobre as peneiras, realizou-se a pesagem das massas passante e retida em cada uma delas (Figura 5). Em seguida, realizou-se o ensaio para a brita, material presente na composição do revestimento asfáltico. Para isso, utilizou-se uma série normal de peneiras estabelecida pela NBR NM 248:2001 [10], seguindo os seguintes diâmetros: 38 mm; 19 mm; 9,5 mm; 6,3 mm; 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 600 µm; 300 µm; 150 µm; fundo. Nesta análise, foram utilizado 5000 gramas brita.



Figura 5: Massa retida na peneira

Por fim, foi realizado o ensaio para 200 gramas de areia fina, utilizando a série normal estabelecida pela

NBR NM 248:2001 [10] (19 mm; 9,5 mm; 6,3 mm; 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 600 µm; 300 µm; 150 µm; fundo). Tanto o ensaio para a brita, quanto o da areia, o procedimento empregado foi semelhante ao realizado com o pó da fibra do coco. Assim, com base nos dados obtidos, foi traçada a curva granulometria da fibra de coco, brita e areia.

A partir do ensaio de granulometria foi possível calcular o módulo de finura do material estudado, que pela NBR NM 248:2001 [10] é representado como a porcentagem retida acumulada dividida por 100 (cem). Quanto maior for o módulo de finura mais graúdo é o material.

2.4 Ensaio de Compactação

Para este ensaio, utilizou-se a fibra de coco com objetivo de determinar a massa unitária deste material, conforme a NBR NM 45:2006 [11]. A massa unitária também é utilizada como parâmetro para classificação do agregado quanto à densidade.

2.5 Ensaio de resistência à compressão

Para realização do ensaio de resistência à compressão, que verifica a resistência à compressão do corpo de prova, foram executados corpos de prova de asfalto. A moldagem dos corpos de prova foi realizada de acordo com a NBR 5738:2015 [12]. O adensamento foi realizado em 3 camadas (Figura 6). E a ruptura dos corpos de prova, foi realizada com uma prensa elétrica digital (teste de compressão), modelo LM-02 Type Digital Dynamometry Appea da Solocap geotecnologia rodoviária LTDA®, de carga máxima 2000 kN com precisão de ± 1 %, tensão 220 V e potência 750 W, conforme apresentada na Figura 7 e o cálculo da tensão de ruptura dos mesmos foi realizada por meio da Equação 1.



Figura 6: Adensamento



Figura 7: Prensa

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Onde: σ (MPa) = Tensão de ruptura;

F (kN) = Força de ruptura;

A (m²) = Área de contato da prensa.

3. Resultados e Discussão

3.1 Caracterização Físico-Química da fibra de coco

O objetivo da caracterização da fibra de coco, foi auxiliar na análise sobre a eficiência da utilização da fibra de coco como adjunto na composição do asfalto. A Tabela 1, apresenta os resultados para a fibra de coco obtida na região do Oeste Potiguar e os padrões de identidades de outros autores, como comparativo.

Tabela 1: Caracterização físico-química da fibra de coco e padrões de identidade

Componentes	Dados da pesquisa (*)	Camara et al. [16]	Cabral et al. [13]
Celulose (%)	38,3	35,52	24,70
Hemicelulose (%)	15,7	33,41	12,26
Lignina (%)	27,62	22,28	40,10
Cinzas (%)	4,63	7,7	2,56
Extrativos (%)	5,00	-	2,63
Total	91,25	98,91	82,25

Fonte: *Autoria Própria

Analisando a Tabela 1, pode-se verificar que o resultado das sete análises apresenta valores bem próximos aos obtidos por outros autores. Alterações entre alguns valores podem ter ocorrido pela particularidade da região em que a matéria-prima foi obtida, onde o solo ou condições climáticas podem interferir nessa composição.

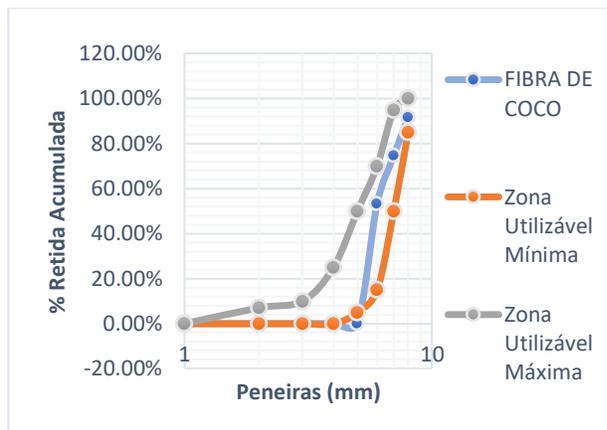
A análise e quantidade obtida na Tabela 1 da lignina se destacou em importância em relação às demais, visto que a lignina foi responsável pela resistência das fibras, podendo assim, consequentemente, aumentar a resistência à compressão do asfalto.

Os teores de cinzas e extrativos obtidos foram superiores aos encontrados na literatura. Isso pode ter ocorrido devido às limitações do laboratório de modo que as duas análises fossem realizadas com maior dificuldade.

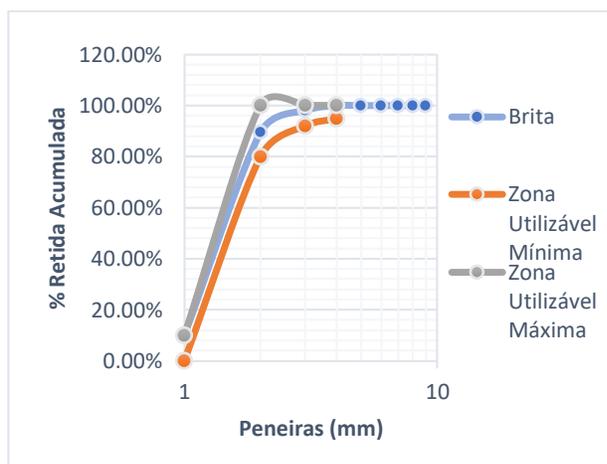
3.2 Ensaio de granulometria

O ensaio de granulometria foi realizado para todos os agregados (fibra de coco, brita e areia) utilizados na obtenção do traço asfáltico. Assim, através do Gráfico 1 é possível observar o comportamento obtido por meio das curvas granulométricas, respectivamente, para o estudo da fibra de coco (1a); Brita (1b); Areia (1c).

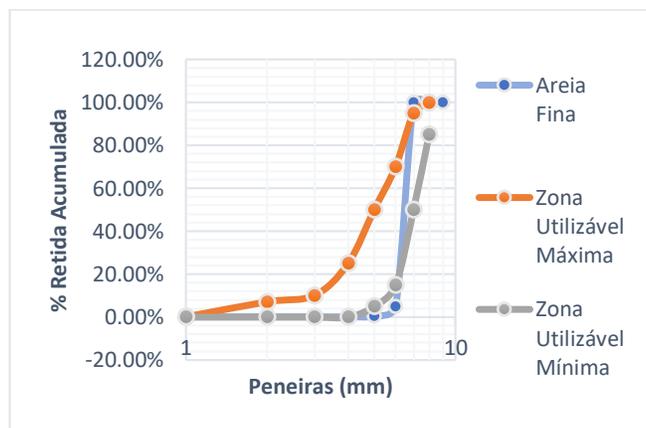
Gráfico: Curva Granulométrica da Fibra de coco (1a); Curva Granulométrica da Brita (1b); Curva Granulométrica da Areia (1c)



(1a)



(1b)



(1c)

De acordo com dados extraídos do Gráfico 1a, é observado que o módulo de finura obtido foi de 0,9157 (quantidade retirada dividida por 100),

caracterizando a fibra de coco como material particulado fino. De acordo com a NBR 7211:2005 [14] sua localização na curva granulométrica fica próxima da zona utilizável inferior.

Pode-se observar que a curva granulométrica da fibra de coco se apresenta, durante sua maior parte, entre a zona utilizável mínima e zona utilizável máxima, sendo assim um material propício ao uso.

Já o Gráfico 1b mostra os resultados no ensaio de granulometria da brita utilizada no traço asfáltico. A brita aplicada foi classificada de acordo com a NBR 7211:2005 [14], como brita 1, com peneira mínima de 9,5 mm e máxima de 25 mm, e comercialmente como brita 1 com peneira mínima 9,5 mm e máxima de 19 mm. Pode-se observar através do Gráfico 02 que a curva granulométrica da brita se encontra entre a zona utilizável mínima e zona utilizável máxima, sendo também um material propício ao uso.

Finalizando o estudo granulométrico acerca dos agregados do traço asfáltico, observa-se por meio do Gráfico 1c os resultados obtidos no ensaio de granulometria da areia utilizada no traço asfáltico. O módulo de finura obtido no ensaio foi de 1,0, caracterizando a areia como fina de acordo com a NBR 7211:2005 [14]. Sua localização na curva granulométrica fica próxima da zona utilizável inferior (Gráfico 1.5). A curva granulométrica da areia se encontra, durante sua maior parte entre a zona utilizável mínima e zona utilizável máxima, sendo assim um material propício ao uso.

3.3 Ensaio de Compactação

Foi realizado o ensaio de compactação da fibra de coco utilizado para o traço do asfalto, com objetivo de determinar a massa unitária deste material. O ensaio foi realizado no laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, campus Pau dos Ferros - UFERSA/PDF, já descrito na metodologia deste trabalho. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos no ensaio.

Tabela 2: Resultados obtidos no ensaio de compactação

Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa do recipiente (cm)	Massa do conjunto (cm)	Volume (cm ³)	Massa unitária compactada (g/cm ³)
10	17,5	5350,2	5524,15	1374,45	0,127

A massa unitária compactada final foi de 0,127 g/cm³, inferior a 1,0 g/cm³, podendo assim ser

classificada, de acordo com a NBR 45:2006 [12], como um material leve.

3.4 Ensaio de resistência a compressão

Para realização do ensaio de resistência à compressão, inicialmente foram preparados corpos de prova de asfalto. Alguns traços foram testados até que se chegasse no traço ideal e final obtido observando principalmente a trabalhabilidade e sustentação do mesmo nos moldes usados. Esses corpos de prova foram moldados sem a adição da fibra do coco, com teores variados de 10%, 20% e 27% (Figura 8).



Figura 8: Corpos de prova no instante imediato após moldagem

Os traços empregados em cada teste da moldagem dos corpos de prova podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3: Traços utilizados para moldagem dos corpos de prova

TRAÇO	CP 01	CP 02	CP 03	CP 04
Brita	50 %	50 %	50 %	50 %
Areia fina	27 %	17 %	7 %	0 %
Fibra de coco	0 %	10 %	20 %	27 %
Cimento (CP II E-32-RS)	15 %	15 %	15 %	15 %
Ligante asfáltico	8 %	8 %	8 %	8 %

Os 4 (quatro) corpos de provas moldados, foram retirados do molde no dia seguinte, agudados e deixados na cura ao ar livre por 30 dias.

Após esse tempo foi realizado o ensaio de resistência à compressão nos corpos de provas. O ideal seria a confecção de 3 corpos de prova para cada

traço, realizando assim em triplicata o teste, e o tamanho do molde utilizado deveria ter 6,35 cm de altura e 10 cm de diâmetro [15]. Porém, o Laboratório de Engenharia Civil da UFERSA-PDF só dispunha de corpos de prova com 20 cm de altura e 10 cm de diâmetro, e a confecção dos 3 corpos para cada traço não foi possível devido a quantidade de ligante disponível.

Com isso, foi então realizada a análise em corpos de prova para cada traço asfáltico. Devido às condições disponíveis no laboratório onde os corpos de prova apresentavam dimensões diferentes aos padrões estabelecidos segundo as normas de análise, assim como a prensa para testagem ser indicada para rompimento de concreto, a qualidade dos resultados finais foi comprometida.

Embora quantitativamente não tenha sido possível obter o valor da tensão a cada corpo de prova, de forma qualitativa, conforme mostrado na Figura 9, é visível o comportamento gerado por rompimento e deformações aos corpos após submeterem a prensa. Como pode ser visto, os corpos CP 03 e CP 04 apresentam-se mais firmes estruturalmente e estes foram produzidos com um maior percentual de fibra do coco em sua composição.

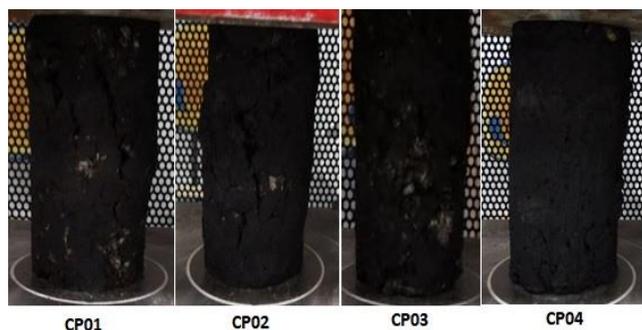


Figura 9: Corpos de prova após ruptura

Embora a força utilizada para ruptura dos corpos de prova tenha sido muito pequena, impossibilitando assim a sua leitura pelo equipamento, segundo a Figura 8 pode-se perceber que os corpos de prova CP 03 e CP04 tiveram deformação inferior aos outros dois, com destaque a grande deformação sofrida pelo CP 01.

4. Conclusões

Em busca de melhorias que minimizem os problemas enfrentados nas rodovias brasileiras, aliada a necessidade de se inovar para ser sustentável. Faz-se necessário cada vez mais encontrar soluções que aumentem a vida útil do pavimento e possa de certa forma, contribuir para a redução de problemas ambientais. Nesse sentido, a fibra de coco surge como alternativa sustentável para substituir o agregado de areia e com isso, proporcionar maior trafegabilidade, segurança e menor custo de manutenção.

Dentre os parâmetros físico-químicos analisados, destacando em especial, ao teor de lignina próximo a 30%, por ser um dos principais componentes da matéria lignocelulósica e apresentar como principal característica a de rigidez ao material, mostra-se atrativo para esta matéria prima no que concerne a sua implementação ao traço asfáltico.

O traço definido no conjunto de agregados apresentou ótima trabalhabilidade para a confecção dos corpos de provas asfáltico. Através do ensaio de granulometria da fibra do coco e da areia, pôde-se observar que a curva granulométrica destas se encontravam dentro dos limites estabelecidos pela faixa utilizável mínima e máxima segundo a NBR 7211:2005. O módulo de finura encontrado para a fibra de coco foi de 0,9157 e da areia foi 1,0, classificando ambos como material fino. Com estes resultados, confirma-se ser possível a substituição da areia pela fibra de coco já que os dois apresentam o módulo de finura aproximados.

Como perspectiva para trabalhos futuros, sugere-se a confecção de moldes e ruptura em condições adequadas, para observação e definição do ganho real de resistência à compressão do asfalto com a adição da fibra do coco.

Referências

- [1] PUTRINO, F. M.; Estudo da obtenção de açúcares redutores a partir de casca de coco verde utilizando CO2 supercrítico. 2016. 71f. Dissertação (Mestre) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2016. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74132/tde->

12082016-154416/publico/ME4886288COR.pdf. Acesso em 04 de janeiro de 2020.

[2] ROSA, M. F., ABREU, F. A. P., FURTADO, A. A. L., BRÍGIDO, A. K. L., NORÕES, E. R.; V. 2001. Processo agroindustrial: obtenção de pó de casca de coco verde. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical (Comunicado Técnico, 61).

[3] BRITO, E. O., ROCHA, J. D. S., VIDAURRE, G. B., BATISTA, D. C., PASSOS, P. R. A., MARQUES, L. G. C.; 2004. Propriedades de chapas produzidas com resíduos do fruto de coco e partículas de pinus. *Floresta e Ambiente*, 11, 2, 01-06.

[4] SILVA, A. C.; Reaproveitamento da casca do coco verde. *REMOA* - v.13, n.5, dez. 2014, p.4077-4086. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/viewFile/15186/pdf>. Acesso em 30 de abril de 2019.

[5] ARAGÃO, W. M., *Coco: Pós-colheita*. Série Frutas do Brasil. EMBRAPA: Brasília, 2002.

[6] MATHAI. P. M. *Bast and other plant fibers*. The Textile Institute. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2005. p. 275-313.

[7] BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B.; *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2008.

[8] COELHO JÚNIOR, M. L. P., ROCHA, P. H. T.; 2013. Estudo preliminar de misturas asfálticas à quente utilizadas em obras de pavimentação na região metropolitana de Goiânia. Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil. Disponível em: https://www.eec.ufg.br/up/140/o/ESTUDO_PRELIMINAR_DE_MISTURAS_ASF%3%81LTICAS_%C3%80_QUE_NTE_UTILIZADAS_EM_OBRAS_DE_PAVIMENTA%3%87%3%83O_NA_REGI%3%83O_METROPOLITANA_D_E_GOI%3%82NIA.pdf. Acesso em 08 de novembro de 2019.

[9] EMBRAPA 236, MORAIS, J. P. S.; ROSA, M. F.; MARCONCINI, J. M.; *Procedimento para análise lignocelulósica*. ISSN 0103 – 0205. Dezembro, Campina Grande, 2010.

[10] NBR NM, NORMA BRASILEIRA 248. Agregados – Determinação da composição granulométrica, 2001.

[11] NBR NM, NORMA BRASILEIRA 45. Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios, 2006.

[12] NBR NM, NORMA BRASILEIRA 5738. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, 2015.

[13] CABRAL, M. M. S.; ABUD, A. K. S.; ROCHA, M. S. R. S.; ALMEIDA, R. M. R. G.; GOMES, M. G.; *Composição da fibra da casca de coco verde in natura e após pré-tratamentos químicos*. ENGEVISTA, V. 19, n.1, p. 99-108, Janeiro 2017.

[14] NBR NM, NORMA BRASILEIRA 7211. Agregados para concreto – Especificação, 2005.

[15] SOARES, J. B.; CAVALCANTE, V. T. F.; DOSAGEM “PASSO A PASSO”. Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia dos Transportes, Campus Picuí. Fortaleza – CE, S.A.

[16] CAMARA, A.; NUNES, M.; SANTOS, J.; MARAFON, A. (2019). *Aproveitamento de cascas de coco para geração de energia térmica: potencialidades e desafios*. 10.13140/RG.2.2.25462.75843.