METÁNÁLISE DA UTILIZAÇÃO DA CERA DA CARNAÚBA COMO ADITIVO IMPERMEABILIZANTE EM MATRIZES CIMENTÍCIAS

META-ANALYSIS OF THE USE OF CARNAUBA WAX AS WATERPROOFING ADMIXTURE IN CEMENT BASE MATERIALS

L. CAVALCANTE
Acadêmica de Engenharia Civil
CENTRE – Faculdade Ari de Sá
Ceará; Brasil
liafontenelec@hotmail.com

G. GOMES
Acadêmico de Engenharia Civil
CENTRE – Faculdade Ari de Sá
Ceará; Brasil
gomeswyllyam@gmail.com

L. TAVARES
Professor, M.Sc.
Faculdade Ari de Sá
Ceará; Brasil
leonardo.tavares@aridesa.com.br

E. MESQUITA
Professor, Doutor
CENTRE - Faculdade Ari de Sá
Ceará; Brasil
mesquita.e@outlook.com

F. COELHO
Professor, Doutor
Universidade Estadual do Vale do Acaraú
Ceará; Brasil
carvalhoarruda@yahoo.com.br

RESUMO

A carnaúba (Copernicia prunifera), planta endêmica do semiárido do Nordeste brasileiro, típica de solos argilosos e aluviões, é um forte elemento cultural do Ceará e foi eleita em 2006 à árvore símbolo do estado. Também encontrada nos estados do Piauí, Rio Grande do Norte e Maranhão, ela possibilita a realização de várias atividades econômicas sendo assim responsável pelo surgimento de um novo ciclo econômico em seus pontos de incidência. Dentre estas atividades, destaca-se a extração da cera da carnaúba, que ocorre na estiagem e é totalmente sustentável, visto que o corte retarda o envelhecimento da palmeira e o processo de extração, em nenhuma etapa, agride o meio ambiente. Além disso, a cera, que é considerada o principal subproduto da carnaubeira, é bastante utilizada pela indústria em fármacos, tintas e vernizes, por ser de origem natural, atóxica e hidrofugante natural por possuir em sua composição, basicamente, ácidos graxos. A incorporação da cera da carnaúba no âmbito da construção civil se dá de forma gradativa e se mostra eficiente, visto que possui características que pode impedir ou retardar a emergência de manifestações patológicas em edificações quando misturadas às composições de materiais de matriz cimentícia. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo realizar uma metanálise sobre a utilização da cera da carnaúba na construção civil, como forma de melhor identificar o cenário atual desta área de pesquisa, bem como conjugar as informações já reportadas na literatura.

Palavras-chave: Cera da carnaúba. Impermeabilização. Recuperação estrutural. Impermeabilizante.

ABSTRACT

“Carnaúba” (Copernicia prunifera) is a common semiarid palm-tree from Northeast of Brazil mainly found in zones of clay and alluviums soils. This tree is a strong cultural element to Ceará State, and in 2006 it was selected as the tree symbol of Ceará State. Additionally, the Carnauba can be also found in others states of Northeast, as Piauí, Rio Grande do Norte and Maranhão it allows the accomplishment of several economic activities, being thus responsible for the emergence of a new economic cycle in its points of occurrence. Among these activities, we highlight the extraction of carnauba wax, which occurs during the drought and is totally sustainable, since the palm tree cuts delay aging and the extraction process, in any stages, damages the environment. In addition, a wax, which is considered the main byproduct of carnauba tree, is well known

by the industry in pharmaceuticals, paints and varnishes, because it is natural, non-toxic and water repellant because it basically contains fatty acids. An incorporation of carnauba wax in the sphere of civil construction occurs in a gradual end efficient way, since it has characteristics that can prevent or delay the emergence pathological manifestations in the compositions cementitious matrix materials. In this context, the present study aims to make a meta-analysis about the use of carnauba wax in civil construction, as a way to better identify the updated scenario of the research area, as well as to combine the information already reported in the literature.
Key words: Carnauba wax. Waterproofing. Structural recovery. Waterproofing.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o concreto é um dos materiais que mais evoluíram com o tempo, destacando-se pela sua trabalhabilidade, baixo custo, alta resistência à tração e a compressão. Entretanto, essas carcterísticas não são suficientes para estabelecer um padrão de qualidade, para isso, deve-se levar em consideração também a durabilidade do material. Segundo Neville e Brooks (2013), a durabilidade de uma estrutura é uma das características mais importantes, entretanto há fatores internos ao concreto e externos advindos do meio capazes de reduzi-las. Pode-se observar a relevância dessa característica no CINPAR (Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas), exemplificado em trabalhos como o de Lima, Landim e Rocha (2017) e Parente, Barretto e Costa (2017), o quais analisam os problemas patológicos de uma construtora em Juazeiro do Norte (CE), onde a durabilidade da estrutura é afetada principalmente pela permeabilidade do concreto armado à água; e ressaltam a importância da continuidade dos estudos referentes aos vários fatores envolvidos na durabilidade das estruturas, respectivamente.

Dentre os fatores redutores da durabilidade, destacam-se os ataques químicos por sulfatos e cloretos que ocorrem no interior do concreto induzindo uma corrosão eletroquímica da armadura, contudo, para isso o concreto deve obter uma certa facilidade de penetração desses íons, e a presença desses agentes químicos na armadura causam a deteriorização de muitas estruturas devido a sua ação expansiva (LAPA, 2008). Logo, a permeabilidade da matriz cimentícia é fundamental, sendo esta a propriedade mais relevante para a redução da vida útil da estrutura.

Dessa forma, torna-se evidente a importância do estudo acerca da redução da permeabilidade desse material. Assim, alguns autores como Coelho; Mesquita (2010), Mesquita (2011), e Maria et al. (2010) já realizaram estudos com a finalidade atenuar a permeabilidade de concretos através da utilização da cera da Carnaúba como aditivo.

A Carnaúba (Copernícia prunifera) é uma planta característica do semiárido do Nordeste brasileiro, que possui diversas utilizações devido as suas propriedades químicas, que possibilitam desde sua aplicação na industria farmacéutica e de cosméticos, até a utilização na fabricação de chips, tintas e vernizes. Também encontrada nos estados do Piauí, Rio Grande do Norte e Maranhão é conhecida como “árvore da vida”, pois ela possibilita a realização de várias atividades econômicas sendo assim responsável pelo surgimento de um novo ciclo econômico nas localidades, o que contribui para ser uma alternativa na composição de renda familiar dos trabalhadores rurais da região (BEZERRA et al., [s.d.]).

Sobre a exploração da cera da Carnaúba, destaca-se a extração da cera que ocorre na estiagem e é totalmente sustentável, visto que o corte retarda o envelhecimento da palmeira e o processo de extração, em nenhuma etapa, agride o meio ambiente. Além disso, a cera é um hidrofugante natural por possuir em sua composição, basicamente, ácidos graxos. Ao final do processo de extração, a cera assume a forma de pó, que é classificado em três diferentes tipos, de acordo com o teor de pureza.

A incorporação da cera da carnaúba no âmbito da construção civil se dá de forma gradativa e se mostra eficiente, visto que possui características que podem diminuir a intensidade de ocorrencia de algumas manifestações patologicas, essencialmente as que têm influencia direta da permeabilidade. Considerando que já, há pelo menos 10 anos se estuda a utilização da cera na construção civil, o presente estudo tem como objetivo realizar uma metanálise acerca da utilização da cera da carnaúba nas matrizes cimentícias.

2. METODOLOGIA

Inicialmente o estudo foi dividido em quatro etapas, de acordo com o modelo de Cooper (2010) apud Figueiredo et al. (2014), que se dá da seguinte forma:

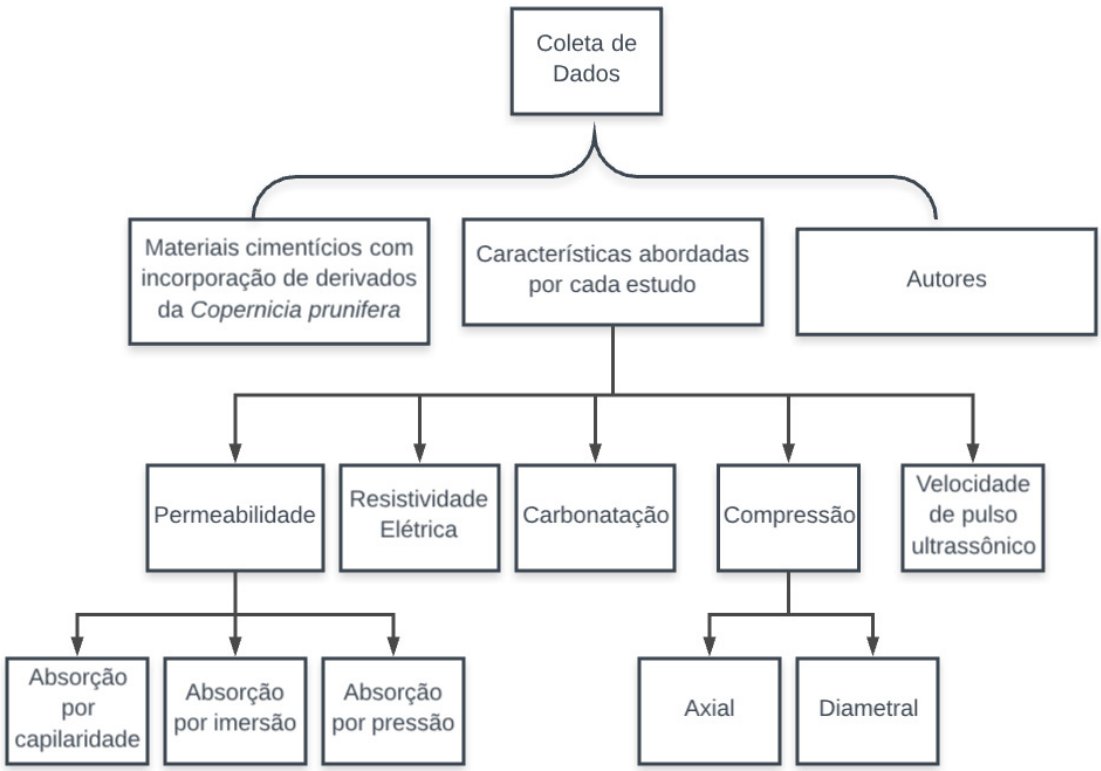
I) Revisão bibliográfica.

II) Coleta de dados dos estudos encontrados na literatura, demonstrado na Figura 1.

III) Análise e síntese dos resultados de cada estudo

IV) Comparação e interpretação dos resultados.

Figura 1 – Representação da metodologia utilizada para a coleta de dados



Fonte: dos autores.

3. RESULTADOS

3.1. Ensaios Mecânicos

Monteiro et al. (2015b), incorporou o pó da Copernicia Prunifera em duas séries de concreto convencional: referencial, e com adição de 5% do pó de carnaúba, afim de aumentar a durabilidade das estruturas através da sua ação impermeabilizante, analisadas nas idades de 7, 28 e 91 dias. Já no estudo de Monteiro et al. (2015), o qual foi incorporado o pó da Copernicia Prunifera e o resíduo de cerâmica vermelha no concreto convencional visando aumentar também a durabilidade das estruturas, foram feitos 3 corpos de prova (CP's): referencial, com adição de 5% de pó da Copernicia Prunifera, e com adição de 20% de substituição de resíduo de cerâmica vermelha, todos em relação à massa do cimento, estes foram estudados nas idades de 7 e 28 dias.

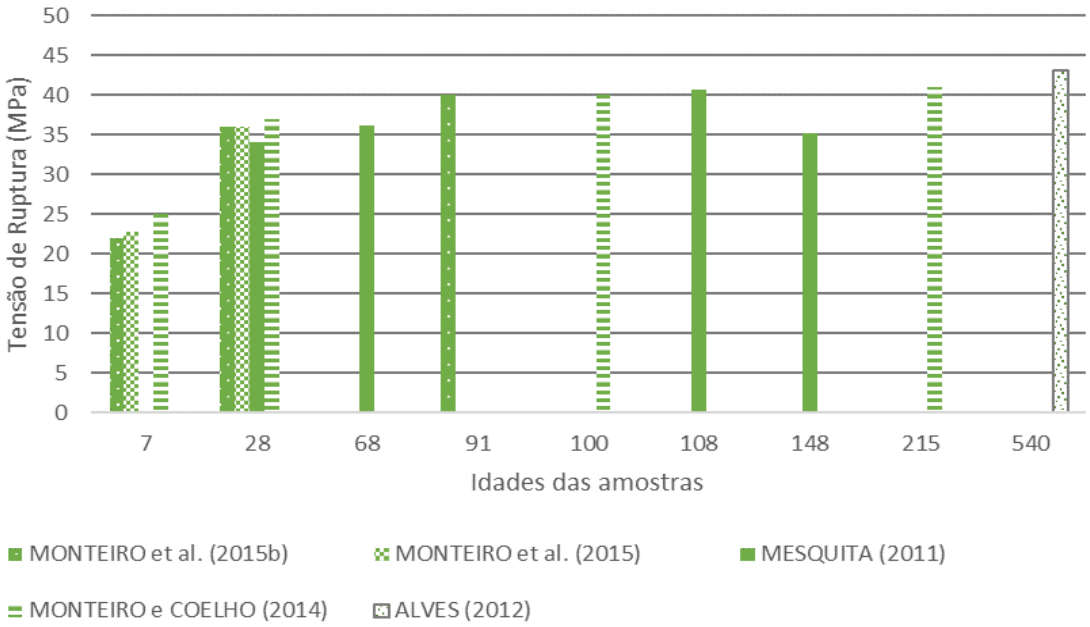
Em ambos estudos, quando analisada a resistência à compressão axial com a adição do pó de carnaúba, obtiveram que nas primeiras idades o concreto referencial apresentou maior resistência à compressão, no entanto, nas idades entre 7 e 28 dias a resistência do material com carnaúba foi maior que o referencial e

isso continuou a ser percebido até os 91 dias. Pode-se observar que os resultados tiveram uma variação entre si de ±3,5%, obedecendo a expectativa desejada, como mostra a figura 2.

Já se tratando do concreto auto adensável, Mesquita (2011), realizou um trabalho acerca da durabilidade do concreto auto adensável com a incorporação do pó de carnaúba analisados em condições normais e controladas em câmara climática, nas idades de 28, 68, 108 e 148. Monteiro e Coelho (2014), analisaram a influência do modo de mistura do concreto auto adensável com pó de carnaúba nas idades de 7, 28, 100 e 215 dias, assim, foram confeccionados, além do concreto referencial, três séries com pó de carnaúba alternando a ordem de colocação dos materiais na betoneira.

Dessa forma, foi verificado o aumento na resistência axial no concreto auto adensável ao adicionar o pó cerífero ao CAA até a idade de 215 dias. Cabe ressaltar que em ambos trabalhos foi observada uma taxa de variação mais elevada na idade de 28 dias, atingindo, segundo Mesquita (2011), 13,5%. Entretanto Alves et al. (2012) relata a redução de 8,3% da resistência axial em relação ao CAA referencial à idade de 540 dias, segundo Mesquita (2011), isso deve-se ao fato que a idade dos CP's é inversamente proporcional a velocidade de ganho de resistência.

Figura 2 – Valores da resistencia à compressão axial de corpos-de-prova de concreto com 5% de adição do pó de Carnaúba.



Em se tratando da resistência à compressão diametral, foi constatado nos estudos de Mesquita (2011); Monteiro e Coelho (2014), que não houve nenhuma alteração significativa com a incorporação do pó da Copernicia Prunifera nos CP's de concreto auto adensável.

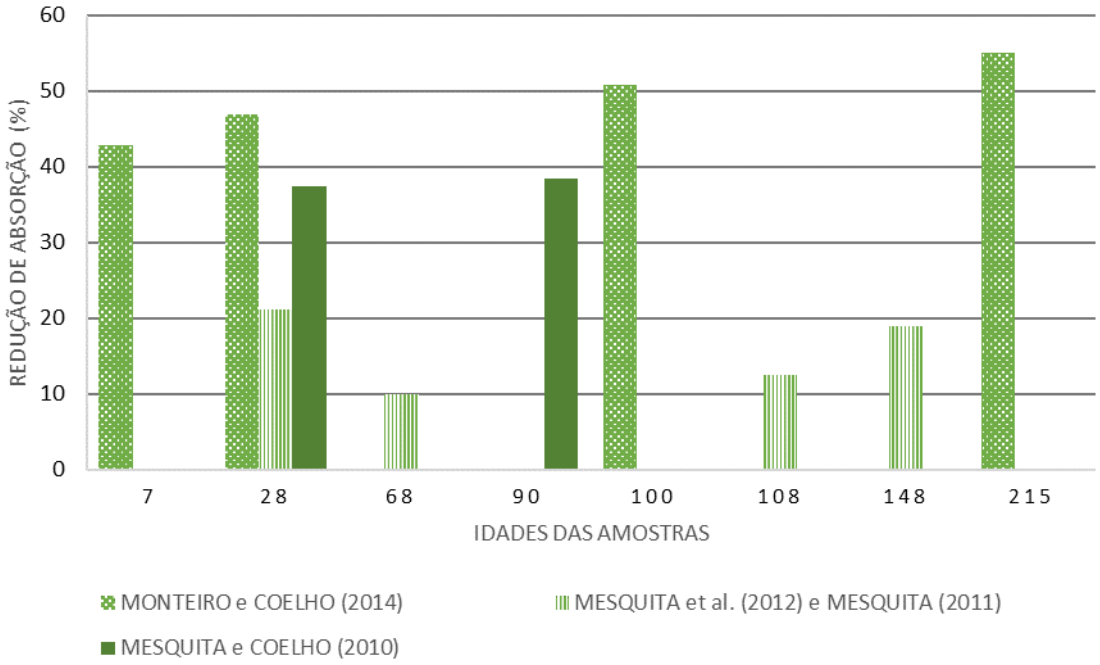
3.2. Ensaios de Permeabilidade

Por ser um material hidrofugante, o pó de carnaúba proporciona ao concreto uma grande proteção à água, reduzindo assim a sua permeabilidade (MONTEIRO; COELHO, 2014). Os autores referidos, que realizaram estudos sobre o modo de mistura da incorporação do pó da carnaúba no CAA, concluiram que, com 5% do aditivo, a absorção por imersão em se tratando do concreto auto adensável aos 28 dias era 47% menor que o referencial. Assim como eles, Coelho e Mesquita (2010), o qual incorporaram 3%, 5% e 10% cera da Copernicia Prunifera nas idades de 28 de 90 dias, observaram em seu trabalho há uma grande influência da carnaúba na redução da taxa de permeabilidade do material, uma vez que as reduções aos 28 dias ocorrem em taxas próximas a 45% com 5% de incorporação e a 70% com 10% de incorporação do pó. Como mostra a figura 4.

Já os estudos realizados por Mesquita (2011) e Mesquita, Coelho e Montenegro (2012), que analisaram o comportamento do CAA com incorporação do pó da carnaúba em condições naturais e aceleradas a fim de aumentar a durabilidade da estrutura, sendo estudadas nas idades de 28, 68, 108 e 148 dias em ambos

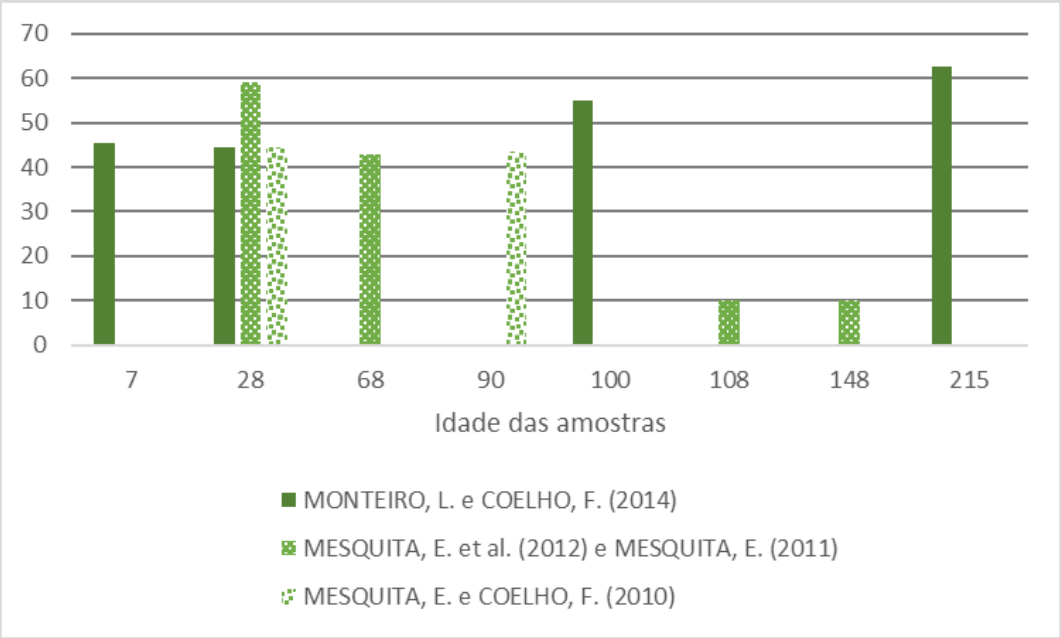
estudos, mostraram que a permeabilidade dos corpos-de-prova de CAA, em condições naturais, com adição de 5% da cera da Carnaúba variam nas proporções máximas de 21,15% e mínima de 10%, quando comparados com os concretos referenciais Além disso, analisaram também quando submetidas à condições controladas através da câmara climática, obtendo uma variação média de redução da permeabilidade do material de 4,8% em 28 dias, 1,3% em 68, 3,9% em 108 e 9,0% em 148 dias.

Figura 3 – Influências da incorporação da cera da carnauba sobre a redução da taxa de absorção de água por imersão do CAA.



Segundo Mesquita (2011) e Mesquita, Coelho e Montenegro (2012), a absorção de água por capilaridade descresce ao longo do tempo quando adicionada 5% da cera da carnaúba ao concreto auto adensável quando analisadas nas idades de 28, 68, 108 e 148 dias, obtendo na idade de 28 dias uma redução de 59% de absorção, aos 68 dias 43% e as idades de 108 e 148 dias ambas apresentaram redução de ±10%. Em comparação, Monteiro e Coelho (2014), relataram uma redução de 20% de absorção em relação ao material referencial, ou seja, sem a adição do pó de carnaúba. Já Coelho e Mesquita (2010), observaram a influência do pó da Copernicia Prunifera, com porcentagens diferentes (3,5 e 10%) nas idades de 28 e 90 dias, obtendo uma redução de até 70% para amostras contendo 10% de Carnaúba. Coelho e Mesquita (2010), concluiram que a porcentagem ótima da concentração do pó da carnaúba é de 5%, sendo esta a única considerada no presente estudo. Dessa forma, a redução das idades estudadas com tal concentração se mostram semelhantes, próximas de 40%.

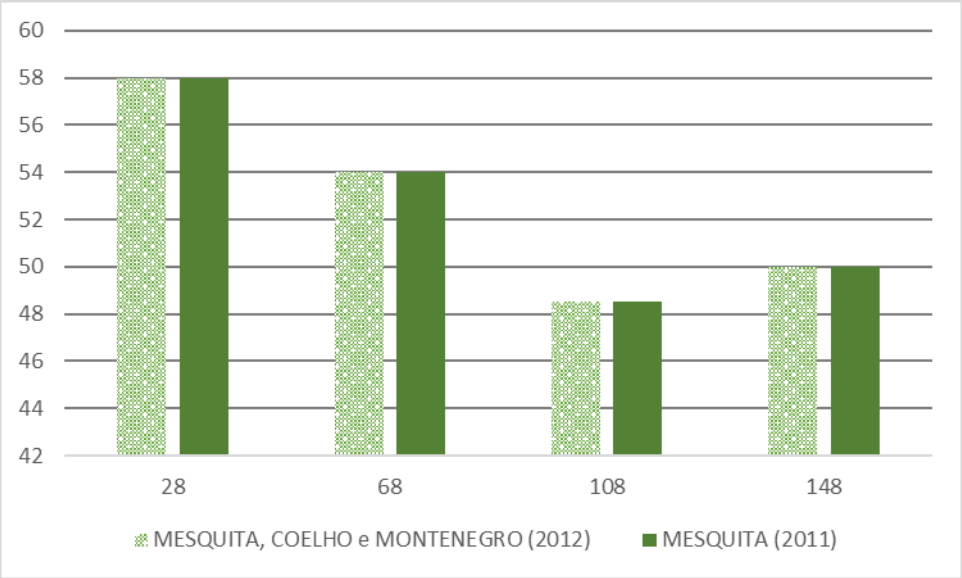
Figura 4 – Comparação entre as influências da adição do pó da Carnaúba na absorção de água por capilaridade no CAA.



A partir dos estudos de Mesquita (2011) e Mesquita, Coelho e Montenegro (2012), os ensaios de absorção de água sob pressão nas amostras de concreto auto adensável com o incremento de 5% cera orgânica apresentaram reduções de permeabilidade significativas. Em ambos estudos foram analisadas as idades de 28, 68 108 e 148 dias, apresentando uma redução aos 28 dias de 58%, aos 68 dias, 54%, e aos 108 e 148 dias apresentaram reduções de 48,5% e 50%, respectivamente.

Além disso, foi possível observar que quando os CP's foram submetidos à câmara climática essa propriedade de permeabilidade sob pressão foi atenuada. Sendo otimizada em 24% aos 68 dias, 31% aos 108 dias, e 24% aos 148 dias.

Figura 5 – Influência da cera da Carnaúba na propriedade de permerabilidade a água sob pressão.

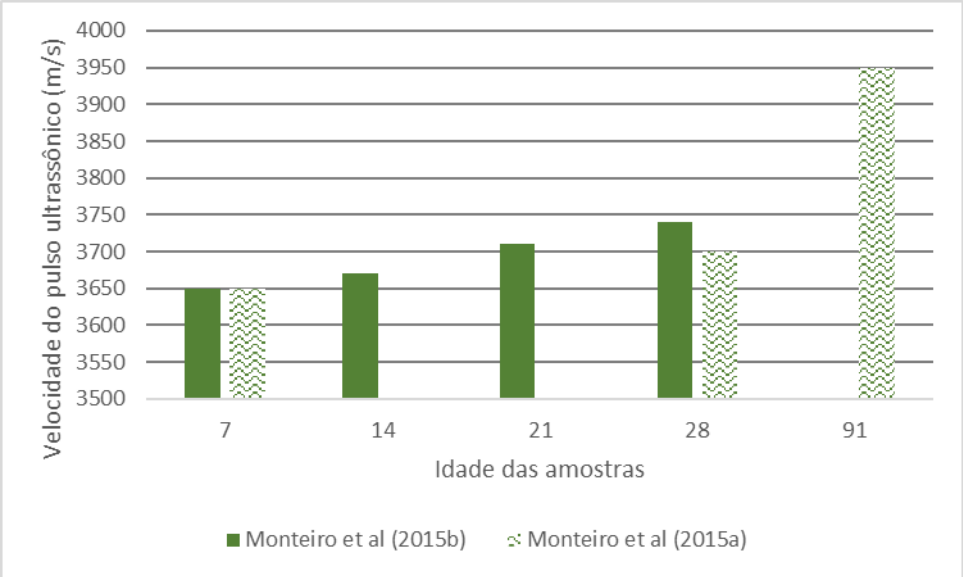


3.3. Ensaios de Durabilidade

Acerca da velocidade do pulso ultrassônico no concreto convencional (CC), foi observado que tanto no estudo de Monteiro et al. (2015b), quanto no de Monteiro et al. (2015a), apresentam concretos de ótima qualidade pois apresentam velocidades superiores a 3500 m/s já na primeira idade (7 dias). O primeiro

estudo com a adição de pó cerífero mostrou um aumento dessa velocidade a partir de 28 dias em 2,56%. Já o segundo, analisou as idades de 7, 14, 21 e 28 dias, obtendo uma velocidade do pulso ultrassônico menor que a referencial, confirmando o primeiro estudo, já que mostra que antes da idade de 28 dias a velocidade é menor.

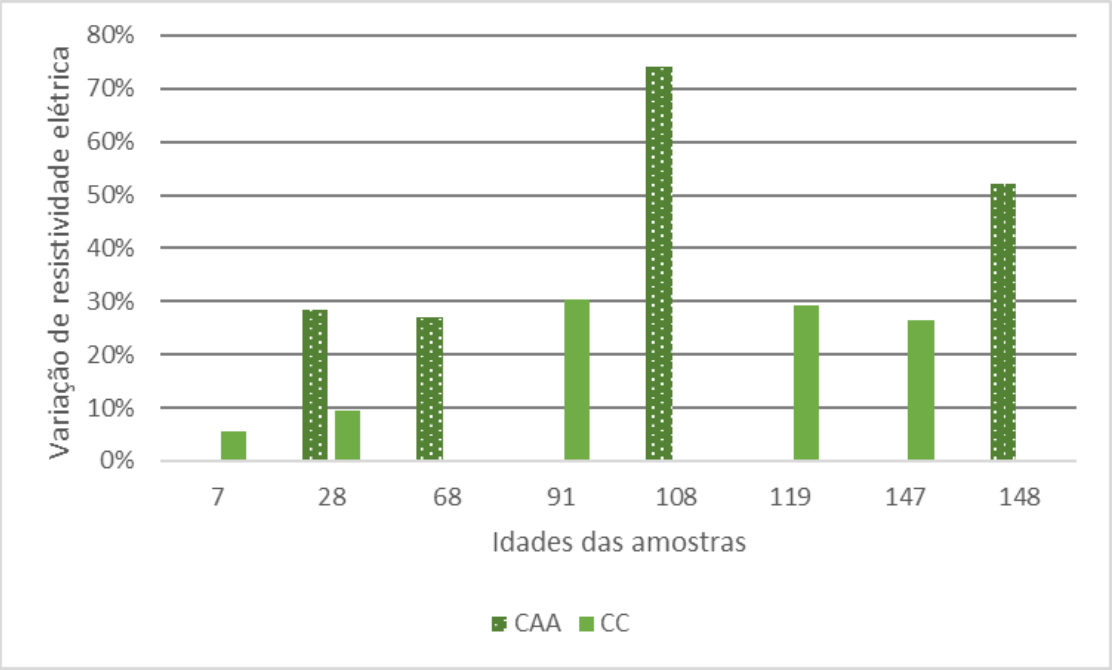
Figura 6 – Valores da velocidade de propagação do pulso ultrassonico do CC com adição de 5%, em m/s.



A fim de analisar sua resistividade elétrica superficial o pó da carnaúba foi acrescentado ao CC em 5%, observada no trabalho de Monteiro et al. (2015c), dessa forma, foram confeccionados 5 corpos-de-prova e analisadas as idades de 7, 28, 91, 119 e 147 dias, optou-se por utilizar o método de Wenner em duas frequências: 10 e 60 Hz. Assim como no de Monteiro et al. (2015b), as quais foram analisadas as idades de 7 e 28, considerando as frequências de 10Hz e 60Hz. Entretanto, foi observado que as frequências não exercem influência significativa na resistividade elétrica, enquanto a resistividade elétrica varia significativamente com a idade das amostras. Assim, todos os dados dos referidos períodos comparados foram semelhantes, apresentando uma influência positiva do incremento do pó de carnaúba no CC em relação à resistividade elétrica e ainda quando comparada aos resíduos de cerâmica vermelha.

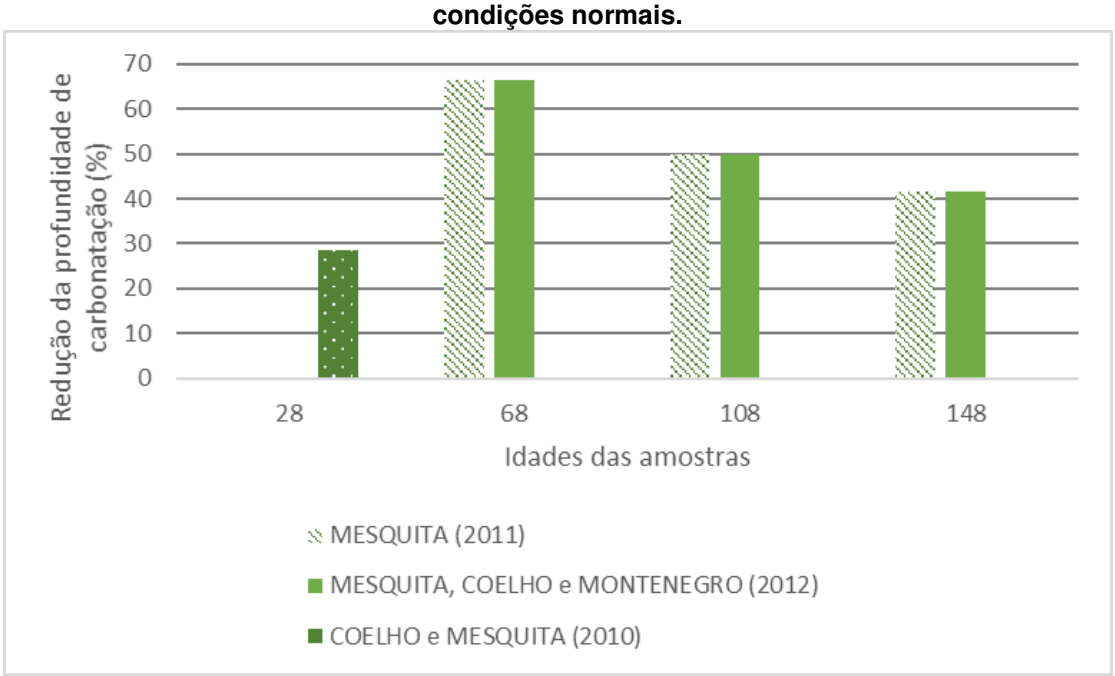
Em se tratando da resistência elétrica do CAA, de acordo com Mesquita (2011) e Mesquita; Coelho; Montenegro (2012), os resultados obtidos pelo ensaio de resistividade elétrica aparente no concreto auto adensável constataram que o pó de carnaubeira potencializou tal propriedade. A variação em porcentagem são de 28,32% aos 28 dias, 27% aos 68 dias, 74% aos 108 dias e 52% aos 148 dias, o que resulta numa média de 45% na diminuição da resistividade do material.

Figura 7 - Comparativo dos resultados de resistividade elétrica superficial para as diferentes idades do CAA e do CC.



Coelho e Mesquita (2010), obtiveram em seus resultados que para de 28 dias há uma redução na carbonatação em 28,5% para a porcentagem de incorporação ótima de pó de carnaúba dada em 5% no CAA. De acordo com o trabalho referido, Mesquita (2011) e Mesquita, Coelho e Montenegro (2012), utilizaram a porcentagem ótima de incorporação encontrada para analisar a redução da carbonatação nas idades de 28, 68, 108 e 148 dias sob condições normais e controladas em câmara climática, obtendo os resultados expressos na figura 8, e, a partir disso, ratificaram seus trabalhos. Entretanto, cabe destacar que aos 28 dias não houve carbonatação pois as amostras foram curadas por imersão em água saturada de cal até essa idade.

Figura 8 – Comparação de estudos referentes à redução da profundidade de carbonatação em condições normais.



4. CONCLUSÃO

É clara a a elevação da resistência à compressão axial obtendo melhor desempenho com 5% de pó incorporado, decorrente da redução de espaços vazios tanto do CC quanto no CAA, havendo um maior acomodamento das partículas. Entretanto, às idades mais avançadas o comportamento mecânico torna-se mais semelhante ao referencial, pois conforme a idade vai aumentando a velocidade de ganho de resistência do CAA com pó de carnaúba vai diminuindo devido à formação de hidratos, aumentando levemente a porosidade. Não houve alteração significativa quando analisada a compressão diametral.

No que se refere à capacidade de absorção por imersão, capilaridade e pressão no CAA, foi observado que há uma redução significativa na quantidade de àgua absorvida em todos os testes quando o material apresenta o pó cerífero, esse fato se dá devido ao mesmo ser um hidrofugante natural, possuindo em sua composição basicamente ácidos graxos.

Quando analisada a velocidade de pulso ultrassônica no CP de concreto convencional, observou-se uma pequena variação apenas após os 28 dias, antes dessa idade a velocidade se mostra inferior à referencial.

Em relação à resistividade elétrica, mostrou-se mais resistente à passagem de corrente elétrica no CC de acordo com a idade analisada, tornando provável melhores resultados em termos de probabilidade de corrosão da armadura em idades mais avançadas. Tal aumento é importante para a durabilidade do concreto, uma vez que a corrosão de armaduras é um fator determinante para a redução da vida útil de uma estrutura. Entretanto, no CAA, a resistividade elétrica superficial diminuiu, contudo, não põe o material em risco de desenvolvimento de corrosão.

Em relação à carbonatação a adição de pó cerífero também se mostrou positivo para o CAA, uma vez que há o fechamento dos poros do concreto diminuindo assim a substituição dos hidróxidos por carbonatos. Quando analisada a resistividade elétrica observou uma diminuição dessa propriedade obtendo uma classificação de baixa probabilidade de corrosão, em decorrência da formação de cristais de sais orgânicos, originados a partir da saponificação do pó cerífero.

A partir da presente pesquisa mostra-se que o pó e a cera da Copernicia Prunífera pode ser um material em potencial para o aumento da durabilidade das estruturas de concreto armado. Entretanto, há a necessidade de desenvolver estudos mais aprofundados acerca das características em que não obtiveram um consenso entre as afirmações, a fim de explicar de forma mais clara esses fenômenos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A. L. S. et al. Avaliação da influência do pó de carnaúba na velocidade de pulso ultrassônico em concretos autoadensáveis. **Anais do 54º Congresso Brasileiro do Concreto**, 2012.

BEZERRA, E. et al. **A Cera de Carnaúba: Origem, Produção e Mercados.VIII Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial**, [s.d.].

COELHO, F. C. A. .; MESQUITA, E. F. T. . Análise da incorporação do pó de Carnaubeira sobre as propriedades de durabilidade do concreto autoadensável. **Anais do 52º Congresso Brasileiro do Concreto**, n. 1, 2010.

FIGUEIREDO, D. B. et al. O que é, para que serve e como se faz uma meta-análise? **Teoria e Pesquisa**, v. 23, n. 2, p. 205–228, 2014.

LAPA, J. S. **PATOLOGIA, RECUPERAÇÃO E REPARO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO**. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

LIMA, V. N.; LANDIM, G. L.; ROCHA, L. DE M. CAUSAS PATOLÓGICAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO DE CASO EM UMA CONSTRUTORA DO MUNICÍPIO DE JUAZEIRO DO NORTE. In: **Anais do XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas**. XIII ed. Crato (CE): [s.n.]. p. 134–152.

MESQUITA, E. **Durabilidade do Concreto Autoadensável com incorporação do pó de carnaúba**. [s.l.] Universidade Estadual do Vale do Acaraú, 2011.

MESQUITA, E.; COELHO, F. C. DE A.; MONTENEGRO, I. N. S. Comportamento do concreto autoadensável com pó de carnaúba submetido à condições naturais e aceleradas : análise da absorção de água por imersão , por capilaridade e permeabilidade à água sob Behavior self-compacting concrete with carnauba â€TM s powder subj. **Anais do 54º Congresso Brasileiro do Concreto**, n. January, 2012.

MONTEIRO, L. et al. CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DO PÓ DA COPERNÍCIA PRUNÍFERA NO CONCRETO. **Anais do 11º Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas**, jun. 2015a.

MONTEIRO, L. M. DE S. et al. Contribuição ao estudo da incorporação no concreto de diferentes materiais disponíveis na região norte do Ceará. **Anais do 57º Congresso Brasileiro do Concreto**, n. 1, 2015b.

MONTEIRO, L. M. DE S. et al. AVALIAÇÃO DA RESISTIVIDADE ELÉTRICA EM CONCRETO COM INCORPORAÇÃO DE PÓ DA COPERNICIA PRUNIFERA. **Anais do 11º Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas**, 2015c.

MONTEIRO, L. M. DE S.; COELHO, F. C. DE A. A influência do modo de mistura do concreto autoadensável com pó de carnaúba : análise no estado fresco e endurecido. **Anais do 56º Congresso Brasileiro do Concreto**, n. 1, 2014.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. 2º edição ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PARENTE, I. M. D. S.; BARRETTO, T. C. M.; COSTA, F. N. CORROSÃO NEGRA: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS CAUSAS E MECANISMOS DE CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO. In: **Anais do XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas**. XIII ed. Crato (CE): [s.n.]. p. 153–164.