

Estudo de viabilidade técnica para substituição parcial de cimento por lignina no concreto auto-adensável (CAA)

Carlos Calado ⁽¹⁾, Aires Camões ⁽²⁾, Fabrizio Elias ⁽¹⁾, Gabriella Dalpane ⁽¹⁾ e Bruna Ferraz ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco-UPE, Brasil.

⁽²⁾ CTAC, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho-UMINHO, Portugal.

DOI: <http://dx.doi.org/10.4995/HAC2018.2018.5093>

RESUMO

A lignina tem como composição elementar carbono, hidrogênio e oxigênio, obtendo-se em maior escala a partir dos resíduos gerados na produção de celulose, papel e etanol celulósico. Cinza de lignina adicionada ao cimento melhora a resistência à compressão do concreto, mas sua queima aumenta custos e danos ao ambiente. A presente pesquisa objetivou obter respostas quanto à viabilidade técnica de adicionar a lignina diretamente ao concreto sem transformá-la em cinzas. Foram moldadas e ensaiadas quatro composições de pastas, P1 a P4, e sete diferentes argamassas de concreto, C1 a C7: tempo de pega por Vicat, espalhamento, resistência à compressão, absorção de água por capilaridade, ascensão capilar e índice de vazios. Recorreu-se, sempre, a três execuções para cada ensaio e os ensaios em concreto endurecido foram efetuados recorrendo a corpos de prova cilíndricos de diâmetro 5 e altura 10 cm. Os percentuais aplicados de lignina foram 2,5% e 5% em massa da mistura de ligante, sendo o ligante considerado como a mistura de cimento e lignina, base seca, razão água/ligante (a/l) = 0,50, cimento CP III 40 RS e diferentes combinações de aditivos (SP) e (P). Os resultados demonstraram: percentual de 2,5% foi melhor que 5%; não houve incompatibilidade entre lignina e aditivo químico, com aumento de resistência; o tempo de pega foi maior com lignina, cumprindo papel similar ao aditivo químico retardador; índice de vazios indicou menor porosidade com indicativo de maior durabilidade na adição de lignina ao concreto. Dessa forma, a pesquisa demonstrou haver indicativos de viabilidade técnica na substituição parcial de cimento por lignina *in natura*.

PALAVRAS-CHAVE: Lignina, Concreto, Argamassas de CAA e CC e Sustentabilidade.

1.- INTRODUÇÃO

Apesar de ser responsável por impactos ambientais, sociais e econômicos consideráveis, como extração de matérias primas e processos produtivos geradores de resíduos [1], a indústria da construção civil é reconhecida como uma das mais importantes atividades produtivas e econômicas. Assim, a redução da degradação ambiental e o desenvolvimento sustentável são desafios onde o aproveitamento racional dos resíduos pode contribuir para

que esses objetivos sejam alcançados. Lignina, extraída do resíduo resultante do processo industrializado de produção de celulose, papel e bioetanol celulósico, poderia vir a ser aplicada como adição em substituição parcial do cimento, em face de suas características físicas e químicas. Ela é muito fina e responsável pela rigidez da parede celular das plantas, tendo a capacidade de cimentar uma célula na outra e aumentar sua resistência [2]. Por estas características, além de apresentar elevado potencial de obtenção no Brasil, onde em 2013 foram produzidas 15 milhões de toneladas de celulose gerando potencial de extração de 7 mil toneladas de lignina [3], onde apenas 2% desse potencial são consumidos [4], sua aplicação em larga escala torna-se possível, principalmente levando-se em conta que no mesmo ano de 2013 foram produzidas e consumidas 70 milhões de toneladas de cimento no Brasil [5]. A lignina pode tornar-se um adesivo ao concreto aumentando sua resistência, mantendo a trabalhabilidade e diminuindo os vazios, principalmente para o concreto auto-adensável (CAA) em face de sua maior finura. Sendo obtida dos resíduos do licor negro da indústria de papel celulósico e da produção de bioetanol celulósico e podendo diminuir o consumo de cimento, torna o custo das obras mais atrativo e diminui o impacto ambiental tanto da produção de concreto quanto de papel. A Universidade do Kansas [6] realizou estudo para adição de 20% de cinzas de lignina de resíduos de produção do bioetanol celulósico ao cimento. Os resultados indicaram aumento de até 32% na resistência do concreto à compressão, porém, a queima do resíduo gera mais impactos ambientais.

Estudar a aplicação de lignina ao concreto reduzindo custos sem gerar novos poluentes ao evitar-se sua queima, foi o objetivo desta pesquisa. Foram então analisadas sete diferentes composições de argamassa para concreto, C1 a C7, com substituição parcial do cimento por lignina nos percentuais de 2,5% e 5%, assim como incorporação de aditivo plastificante e superplastificante. Aplicaram-se ensaios de resistência à compressão, durabilidade, agulha de Vicat e índice de consistência. Os ensaios de durabilidade foram absorção de água por capilaridade, ascensão capilar e índice de vazios. Buscou-se resposta quanto à viabilidade técnica da substituição parcial de cimento por lignina *in natura*, com indicativos de melhor percentual de substituição, compatibilidade entre os constituintes com ênfase para os aditivos químicos superplastificantes (SP) e plastificantes (P), isoladamente ou combinados, conforme adotado usualmente na região de desenvolvimento da pesquisa, Recife-PE. As composições foram estabelecidas de modo a permitir comparativo de desempenho com e sem a adição de lignina. Ressalte-se que a lignina não foi submetida a qualquer sistema de tratamento adicional, evitando-se novos processos de produção. Dessa forma o estudo buscou comprovar o possível uso de resíduo com potencial de disponibilidade, redução de consumo de cimento, poluição ambiental e estabelecimento de aproveitamento econômico de rejeito industrial. Tudo contribuindo para menores custos e maior sustentabilidade ambiental.

2.- PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL E REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

2.1.- Constituintes e composições

O cimento aplicado foi o CP III 40 RS, largamente empregado na região, com relação água/ligante (a/l) de 0,50, sendo estabelecidas sete composições, C1 a C7 [Quadro 1]. C1 é a composição de referência sem lignina e sem aditivo químico (P) ou (SP), enquanto C2 é

sem lignina e com (SP+P). A lignina usada foi retirada do licor negro da produção de papel pelo processo Kraft, a partir da madeira eucalipto. A areia utilizada, denominada lavada, e o cimento foram comprados em armazéns do Recife-PE. A água foi captada do sistema público de abastecimento da cidade, buscando-se obter argamassas de concreto, CAA e CC, o mais próximo das aplicadas em obras na cidade. Os aditivos foram o plastificante Bauchemie®FK 840-MC e o superplastificante Sika®Viscocrete 60 HE. Buscou-se determinar a viabilidade e percentual recomendado de uso de lignina em substituição parcial ao cimento, comportamento na presença dos aditivos químicos, tempos de início e fim de pega, propriedades de trabalhabilidade, resistência mecânica e durabilidade.

Quadro 1. Detalhamento das Composições C1 a C7.

Constituintes	U.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
% Lignina	%	0	0	5	2,5	2,5	2,5	2,5
CP III 40 RS	g	588	588	558,6	573,3	573,3	573,3	573,3
Lignina	g	0	0	29,4	14,7	14,7	14,7	14,7
Areia	g	1252	1252	1252	1252	1252	1252	1252
Água	g	288	288	288	288	288	288	288
SP	g	0	5,88	5,88	5,88	0	5,88	0
P	g	0	3,5	3,5	3,5	0	0	3,5
Relação (a/l)	-	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

C3 e C4 usam os dois aditivos químicos (SP+P) com 5% e 2,5% de lignina, respectivamente. A composição C4 indicou melhor desempenho de resistência à compressão comparada a C3, portanto, foi mantido o percentual de 2,5% em C5, C6 e C7. C5 não contém aditivos químicos, C6 contém apenas (SP) e C7 apenas (P). Usualmente o concreto auto-adensável utiliza (SP+P) em suas composições e os concretos convencionais, apenas (P). C6 procurou identificar possíveis diferenças de comportamento com o uso apenas de (SP). As características físico-químicas da lignina utilizada nos estudos foram determinadas em parceria com o Departamento de Química da UFRJ. Destacam-se 48,79% de Carbono, 5,44% de Hidrogênio, 36,16% de Oxigênio, 14,4% de Cinzas em massa e teor de Açúcar entre 1% e 2%.

2.2.- Ensaios de resistência à compressão

Os ensaios de compressão foram realizados no laboratório de materiais de construção da Escola Politécnica da UPE nas idades de 24 horas, 7, 28 e 90 dias nas composições C1 a C7, à exceção de C4 cujo primeiro rompimento se deu na idade de 3 dias por questões operacionais do laboratório, mantendo-se as demais idades. Foram utilizados três corpos de prova (CPs) para cada idade sendo então 12 CPs para cada composição estudada, o que totalizou 63 moldagens. Foi considerada a resistência média dos três CPs quando o resultado mais discrepante não ultrapassava 10% de diferença para a referida média. Acima de 10%, a resistência discrepante, de maior ou menor valor, era descartada e considerada a média dos outros dois resultados. Todos os corpos de prova cilíndricos foram moldados com diâmetro de 50 mm e altura 100 mm e foram curados em câmara úmida, lá permanecendo até o momento dos ensaios. A areia utilizada tinha dimensão máxima de

2,39 mm, módulo de finura 2,409. A moldagem e os ensaios de resistência à compressão dos CPs também seguiram as recomendações da NBR 7215 [7]. As Figs 1 e 2 mostram fotos dos constituintes depois de separados e pesados prontos para início da mistura e a prensa utilizada para execução dos ensaios, respectivamente. Trata-se de prensa computadorizada e servo mecanizada modelo EMIC DL 300, carregamento constante de 0,040 mm/s, sendo os resultados fornecidos por software próprio com produção de gráficos e apresentação das resistências em MPa.



Figura 1. Materiais selecionados e pesados



Figura 2. Prensa EMIC DL 300

2.3.- Ensaio de índice de consistência

O índice de consistência é a medida do diâmetro da base do tronco de cone de argamassa após o espalhamento/abatimento, sendo mensurado com auxílio de paquímetro e expresso em milímetros. Os ensaios, realizados conforme a NBR 13276 [8] e também a NBR 7215 [7], utilizaram três moldagens para cada composição. Um molde tronco-cônico era posicionado no centro da mesa vibratória manual e em seguida preenchido com a argamassa em três camadas, aplicando-se quinze, dez e cinco golpes para adensamento. Em seguida o molde era removido e a alavanca da mesa girada manualmente para realizar trinta quedas em trinta segundos conforme controle através de cronômetro. Os diâmetros resultantes eram medidos e sua média, utilizada como resultado final. A realização dos ensaios está mostrada nas Figs 3 e 4, visualizando-se o molde já preenchido com a argamassa sobre a mesa vibratória manual e a argamassa depois de retirada do molde e espalhamento final, respectivamente.



Figura 3. Molde preenchido com argamassa



Figura 4. Argamassa após espalhamento

2.4.- Ensaio de agulha de Vicat

O ensaio de agulha de Vicat foi dividido em duas etapas. Inicialmente foi feita a determinação da água da pasta de consistência normal, cimento (C) + água (A), conforme NBR NM 43 [9]. Em seguida, foram realizados os ensaios de tempos de início e fim de pega conforme a NBR NM 65 [10] para a pasta de referência (C+A) e as demais pastas

estabelecidas com diferentes composições incluindo lignina (L) no percentual de 2,5%, superplastificante (SP) e plastificante (P), pastas P1 a P4 [Quadro 2]. A realização dos ensaios está mostrada nas Figs 5 e 6, visualizando-se o recipiente já preenchido com pasta e a realização do ensaio com a penetração da agulha e leitura dos resultados, respectivamente.

Quadro 2. Pastas ensaiadas e constituintes aplicados.

<i>Constituintes</i>	<i>Unid.</i>	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>P4</i>
CP III 40 RS	g	500	487,5	500	487,5
Lignina	g	-	12,5	-	12,5
Água	g	158	158	158	158
SP	g	-	-	5	5



Figura 5. Molde preenchido com pasta



Figura 6. Penetração da agulha de Vicat

2.5.- Ensaio: Absorção de água por capilaridade, Ascensão capilar e Índice de vazios.

Os ensaios de durabilidade foram aplicados nas composições C2, C4 e C5. Buscou-se identificar diferenças de desempenho entre composições com SP e P associados sem lignina, C2, com lignina, C4, e com lignina e sem aditivos químicos, C5. Os ensaios de absorção de água por capilaridade e ascensão capilar, tomaram por base a NBR 9779 [11]. Foram utilizados três corpos de prova (CPs) para cada composição em cada idade, 30 e 60 dias, totalizando 18 moldagens. Os CPs foram secados em estufa e resfriados até a temperatura ambiente de 27°C quando então foram pesados para determinação de suas massas e iniciados os ensaios. Depois de colocados sobre filme de água com altura constante de (5 ± 1) mm acima da face inferior, as massas foram sendo medidas nos tempos de 3, 6, 24, 48 e 60 horas. Em seguida à última pesagem, os CPs foram rompidos através do ensaio de compressão diametral com base na NBR 7222 [12], sendo possível medir a ascensão capilar. Os ensaios de índice de vazios tomaram por base a NBR 9778 [13]. As Figs 7 e 8 mostram dois CPs após realização do ensaio e rompimento diametral.



Figura 7. Rompimento diametral



Figura 8. Visualização da ascensão capilar

3.- RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISES AVALIATIVAS

3.1.- Ensaio de agulha de Vicat para tempos de início (Ti) e fim (Tf) de pega

A pasta de consistência normal foi determinada e a relação (a/l) foi de 0,316. As composições P1 a P4 foram moldadas em seguida utilizando essa mesma relação (a/l). O tempo de início de pega foi determinado quando a agulha penetrou (4 ± 1) mm na pasta com leituras realizadas com intervalos de 15 minutos e o tempo de fim de pega quando a agulha penetrou 0,5 mm com leituras realizadas no mesmo intervalo de tempo. A Fig. 9 a seguir apresenta o gráfico dos resultados dos ensaios de determinação dos tempos Ti e Tf pega das pastas ensaiadas P1 a P4.

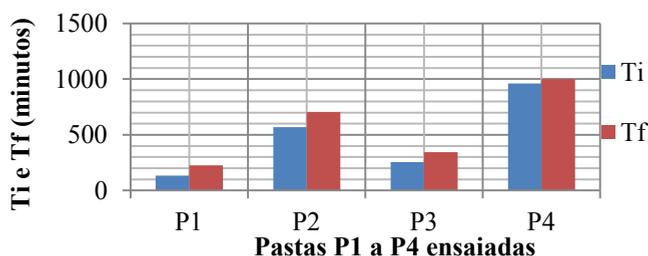


Figura 9. Gráfico dos resultados de agulha de Vicat nas pastas P1 a P4.

Ao se comparar P2 (lignina) com P1 sem lignina ambas sem aditivos químicos, o início de pega em P2 foi prolongado em 322% em relação a P1. Comparando P4 (lignina) com P3 sem lignina, ambas com (SP), verificou-se que o início de pega em P4 foi prolongado em 276% em relação a P3. Para P3 e P1, o prolongamento de P3 em relação a P1 foi de 89%. Finalmente, entre P4 e P2, o prolongamento de P4 em relação a P2 foi de 68%. Verificou-se indicativo de que a adição de lignina provoca efeito retardador do tempo de início de pega do concreto com ou sem a presença dos aditivos químicos retardadores.

3.2.- Ensaio de índice de consistência

A Fig. 10 mostra gráfico com os resultados de espalhamento obtidos nos ensaios na mesa vibratória manual aplicada nas composições ensaiadas C1 a C7.

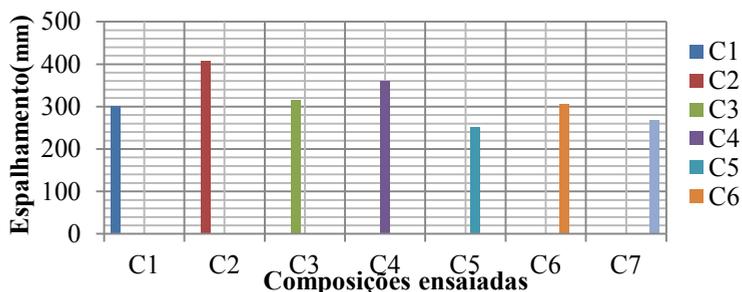


Figura 10. Gráfico dos resultados de espalhamento das composições C1 a C7.

Comparando-se C4 (2,5%) com C3 (5%) de lignina, o espalhamento de C3 foi 87% do valor de C4. Ao se comparar C5 (lignina) com C1 sem lignina, ambas as composições sem (SP+P), verificou-se que o espalhamento de C5 foi 83% do obtido por C1. Ao se comparar C4 (lignina) com C2 sem lignina, ambas as composições com (SP+P), verificou-se que o espalhamento de C4 foi 88% do obtido por C2. No comparativo entre C6 (SP) e C7 (P), como esperado, a redução no espalhamento de C7 foi de 12%. Dessa forma, independente da presença de (SP+P), o desempenho de espalhamento das composições com lignina foi um pouco inferior àquelas sem adição de lignina.

3.3.- Ensaios de resistência à compressão

A Fig. 11 mostra gráfico com curvas ajustadas dos resultados de resistência à compressão de todas as composições ensaiadas C1 a C7.

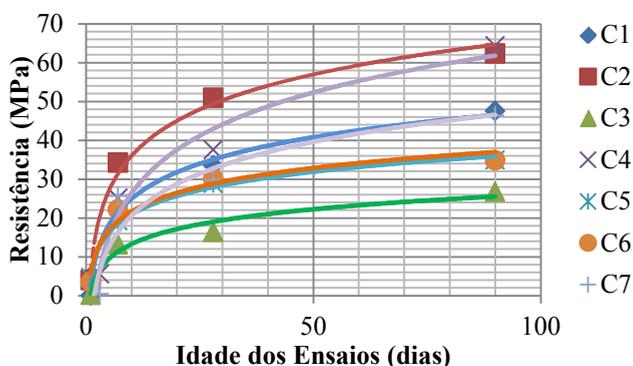


Figura 11. Gráfico mostrando evolução da resistência à compressão das composições ensaiadas.

O melhor desempenho de C4 com 2,5% de lignina em relação a C3 com 5%, ambas contendo (SP+P), foi 141% superior aos 90 dias. Dessa forma, as composições C5, C6 e C7 utilizaram apenas o percentual de 2,5% de lignina em substituição parcial ao cimento. O comparativo entre C1 sem aditivos e C2 contendo (SP+P), ambas sem lignina, mostrou desempenho de C2 31% superior em relação a C1. Calado *et al.* [14], já haviam demonstrado que a aplicação de (SP+P) melhora o desempenho de resistência à compressão com maior homogeneidade e diminuição da porosidade na pasta e na interface agregado-pasta. De forma equivalente, o comparativo entre C5 sem aditivos e C4 contendo (SP+P), ambas agora com 2,5% de lignina, mostrou desempenho de C4 84% superior em relação a C5, evidenciando-se a importância da compatibilidade entre lignina e aditivos químicos. Destaque-se que C4 com lignina e (SP+P) apresentou a maior resistência aos 90 dias em relação às demais composições ensaiadas, sendo 3% superior em relação a C2 com (SP+P), e 35% em relação a C1 sem aditivos, ambas as composições de referência sem lignina. Para o comparativo entre composições com lignina, C5 (sem aditivos), C6 (SP), e C7 (P), têm-se alguns indicativos: C5 e C6 apresentaram evolução das resistências quase idênticas; C7 (P) apresentou resultado 32% superior em relação a C5 e C6 em média; no comparativo direto entre as resistências de C4 (SP+P) com C5 e C6, verificou-se que o desempenho de C4 foi

84% superior a C5 e C6; o comparativo entre C1 e C5, ambas as composições sem aditivos químicos, mostrou que o desempenho de C5 com lignina foi 73% de C1, o que ressalta mais uma vez a compatibilidade entre lignina e aditivos químicos. Dos resultados encontrados é possível estabelecer a viabilidade técnica da substituição parcial de cimento por lignina no percentual recomendável de 2,5%, com melhor desempenho nas composições que usualmente utilizam plastificante (CC) e plastificante associado à superplastificante (CAA), conforme prática usual na região da pesquisa.

3.4.- Ensaio: Absorção de água por capilaridade, Ascensão capilar e Índice de vazios.

A Fig. 12 apresenta em forma de gráfico os resultados dos valores médios encontrados para a absorção de água por capilaridade (AAC) em g/cm^2 , para as idades de 30 e 60 dias, com medições após início, com 03, 06, 24, 48 e 60 horas de ensaio, para amostras de C2, C4 e C5. Na abcissa (x) estão indicadas as idades de 30 e 60 dias. Na ordenada (y) foram plotados os resultados da absorção de água por capilaridade em g/cm^2 aos 30 e 60 dias.

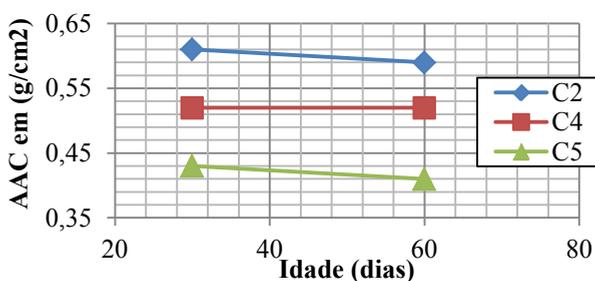


Figura 12. Gráfico dos resultados de absorção de água por capilaridade em C2, C4 e C5.

A Fig. 13 apresenta gráfico com os resultados dos valores médios encontrados para a ascensão capilar (AC) para as idades de 30 e 60 dias, nas amostras de C2, C4 e C5. Na ordenada (y) estão indicados os resultados para 30 e 60 dias do percentual dos valores de AC medidos em relação à altura dos CPs. Na abcissa (x) foram plotadas as composições C2, C4 e C5, cada uma nas idades de 30 e 60 dias.

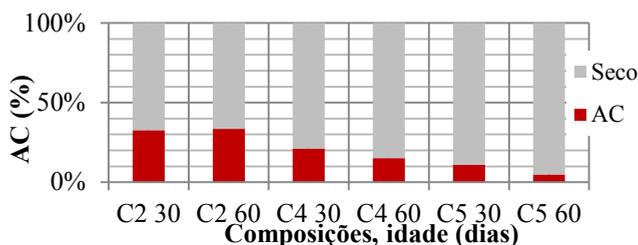


Figura 13. Gráfico dos resultados de ascensão capilar em C2, C4 e C5.

A Fig. 14 apresenta gráfico com os resultados dos valores médios encontrados para o índice de vazios (IV) nas idades de 30 e 60 dias, nas amostras de C2, C4 e C5. Na ordenada (y) estão indicados os resultados para 30 e 60 dias do percentual de índice de vazios dos CPs.

Na abcissa (x) foram plotadas as composições C2, C4 e C5, cada uma nas idades de 30 e 60 dias.

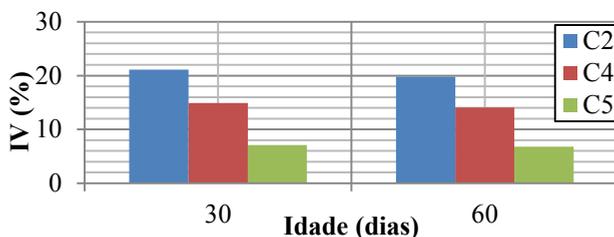


Figura 14. Gráfico dos resultados de índice de vazios em C2, C4 e C5.

Os ensaios de durabilidade aplicados em C2 (sem lignina e com aditivos), C4 (com lignina e aditivos) e C5 (com lignina e sem aditivos), mostraram que a diferença de 30 dias entre eles não foi suficiente para indicação da evolução de desempenho como foi possível perceber nos ensaios de resistência entre 28 e noventa dias. Mas, foi possível verificar indicativos que demonstraram menor porosidade nas composições com lignina em função de sua maior finura com conseqüente melhor preenchimento dos poros. Tal representa indicador de maior durabilidade para o concreto.

4.- CONCLUSÕES

A lignina foi aplicada *in natura* sem ser submetida a qualquer intervenção adicional que alterasse suas características físico-químicas. A seguir são apresentadas algumas conclusões com base nos resultados encontrados:

(a) A resistência à compressão, durabilidade e consistência, demonstraram que a substituição parcial de cimento por lignina é tecnicamente viável desde que o percentual de substituição não ultrapasse 5%; (b) O conjunto de ensaios aplicados demonstrou que existiu compatibilidade entre a lignina e os aditivos químicos SP e P usualmente aplicados nas composições de concreto utilizadas na região da pesquisa; (c) C4, composição contendo lignina e aditivos químicos SP e P, foi a que apresentou maior resistência aos 90 dias; (d) Nos ensaios de tempos de pega através de agulha de Vicat, apenas a adição de lignina, mesmo sem aditivos químicos retardadores de pega (pasta P2), foi suficiente para prolongar o início da pega em tempo quatro vezes superior à pasta apenas com cimento e água (P1), demonstrando dessa forma outro benefício agregado pelo uso do resíduo.

Com os resultados do presente estudo percebe-se que a continuidade da pesquisa poderá consolidar indicativos que fortaleçam a aplicação de resíduos industriais sem necessidade de novos processamentos que aumentem a poluição ambiental e custos financeiros.

REFERÊNCIAS

- [1] Gasques, A.C.F., *et al.*, Impactos Ambientais dos Materiais da Construção Civil: Breve Revisão Teórica. Universidade Federal de Maringá, Paraná (2014).

- [2] D’Almeida, M.L.O., Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica. 2.ed., São Paulo: IPT, v.1, p. 45-106 (1988).
- [3] Nogueira, L.A.H. e Walter, A.C.S., Experiências de Geração de Energia Elétrica a Partir de Biomassa no Brasil: aspectos técnicos e econômicos. Informe de la Reunión Regional sobre Generación de Electricidad a partir de Biomasa, FAO/FOWP, Montevideo (1995).
- [4] Gosselink, R.J.A., *et al.*, Co-ordination network for lignin—standardisation, production and applications adapted to market requirements (Eurolognin). *Industrial Crops and Products*, 20, p. 121–129 (2004).
- [5] CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Consumo Anual de Cimento - Brasil e Grandes Regiões. Banco de Dados (2013).
- [6] Kansas State University. Scientists build stronger, greener concrete with lignin. Department of Civil Engineering, USA (2013).
- [7] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7215: Cimento Portland - Resistência a Compressão. Rio de Janeiro (1996).
- [8] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro (2002).
- [9] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 43: Cimento Portland – Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro (2003).
- [10] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 65: Cimento Portland – Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro (2003).
- [11] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro (2012).
- [12] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro (2011).
- [13] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro (2005).
- [14] Calado, C., *et al.*, Durability Indicators Comparison for SCC and CC in Tropical Coastal Environments. *Materials*, 8(4), 1459-1481; doi:[10.3390/ma8041459](https://doi.org/10.3390/ma8041459) (2015).