

# ESTUDO DA EFETIVIDADE DA UTILIZAÇÃO DA LIGNINA KRAFT PRODUZIDA PELA INDÚSTRIA DE CELULOSE COMO ADITIVO QUÍMICO PARA ARGAMASSAS\*

Raquel Salgado Batista<sup>1</sup>  
Dyandra Lorayne Souza Pereira<sup>2</sup>  
Armin Franz Isenmann<sup>3</sup>  
Evandro Tolentino<sup>4</sup>

## Resumo

O processo Kraft, que é o mais utilizado para obter celulose, gera grande quantidade de licor preto, um líquido constituído de residuais químicos, substâncias orgânicas dissolvidas, polissacarídeos e açúcares de baixa massa molar. Este trabalho propõe a utilização da lignina Kraft, proveniente do licor preto fraco, como aditivo para argamassas. Composições de pasta de cimento e argamassas foram produzidas incorporando na mistura porcentagens de 0,05%, 0,1%, 0,3% e 0,5% de lignina sobre a massa de cimento. Com relação à fluidez das argamassas a adição da lignina não resultou em alterações significativas. Entretanto, pastas de cimento com 0,3% e 0,5% de lignina apresentaram um retardo significativo no tempo de início de pega, possibilitando classificar a lignina como aditivo retardador de pega.

**Palavras-chave:** Aditivo; Argamassa; Kraft; Lignina.

## STUDY ON EFFECTIVENESS OF LIGNIN RECOVERED FROM BLACK LIQUOR PRODUCED BY THE PULP AND PAPER INDUSTRY AS CHEMICAL ADMIXTURE FOR PORTLAND CEMENT MORTARS

### Abstract

Kraft process is one of the major alkaline process used to convert wood to pulp. The solution obtained after the removal of the fiber is named black liquor, a very complex liquid, consisted of high alkalinity and high dissolved solids such as lignin residues, degraded carbohydrates and inorganic constituent. In this study the use of lignin from black liquor as chemical admixture for Portland cement mortars was investigated. Cement paste and mortar mixtures were prepared with 0.05% wt., 0.1% wt., 0.3% wt., and 0.5% wt. lignin addition, and they were tested for workability and setting time. From results it was shown that lignin addition did not modified the workability performance of mortars. However, 0.3% wt., and 0.5% wt. of lignin addition increased cement pastes setting time, proving that lignin could act as set retarder.

**Keywords:** Kraft; Lignin; Chemical Admixtures; Mortar.

<sup>1</sup> Engenheira Química, Bacharel, Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, UNILESTE-MG, Coronel Fabriciano, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheira Civil, Bacharel, Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, UNILESTE-MG, Coronel Fabriciano, MG, Brasil.

<sup>3</sup> Químico, Doutor em Química, Professor, Departamento de Metalurgia e Química-DMQTIM, CEFET-MG Campus VII Unidade Timóteo, Timóteo, Minas Gerais, MG, Brasil

<sup>4</sup> Engenheiro Civil, Doutor em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Professor, Departamento de Computação e Construção Civil-DCCTIM, CEFET-MG Campus VII Unidade Timóteo, Timóteo, Minas Gerais, MG, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

O grande crescimento de empresas de celulose no Brasil fez aumentar proporcionalmente a geração de resíduos industriais. Atualmente, a produção mundial de celulose equivale a aproximadamente 180 milhões de toneladas, sendo 74% dessa produção via processo químico [1].

O processo Kraft é o mais utilizado na produção da celulose e gera grande quantidade de licor preto. Este líquido, formado quando é concluída a etapa de cozimento, é constituído de residuais químicos, substâncias orgânicas dissolvidas, polissacarídeos e açúcares de baixa massa molar. Essa composição se altera de acordo com a espécie de madeira sendo processada e com as condições de polpeamento [2].

A lignina, um dos componentes do licor preto, é o segundo polímero natural mais abundante, sendo responsável por conferir, aos tecidos vegetais, rigidez, impermeabilidade e resistência ao ataque microbiológico. Ela possui uma estrutura complexa e suas unidades monoméricas não se repetem de modo regular, como acontece em outros polímeros. Os processos de cozimento da madeira, bem como aqueles utilizados na precipitação da lignina, provocam mudanças na sua estrutura. Por esse motivo, nenhum método de isolamento da lignina permite obtê-la da maneira como se encontra no vegetal, pois mudanças na estrutura vão interferir diretamente na aplicação [3,4,5].

Algumas indústrias de celulose e papel, que possuem um *layout* de produção mais antigo, ainda utilizam a maior parte da lignina (ou toda a lignina), obtida no processo, para a geração de energia. Com o aumento na capacidade produtiva das plantas industriais, com a modernização das linhas de produção e com o aumento da eficiência energética, pode-se esperar que haja excedentes de lignina.

O Brasil, sendo um dos principais players no segmento industrial da celulose (7º maior produtor mundial de celulose), deve atender às expectativas da química verde, indo em direção à biorrefinaria integrada. Neste sentido se posiciona este projeto, que visa a utilização da parte não fermentável do licor preto do processo Kraft, a lignina solubilizada, como aditivo na preparação de argamassas.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Obtenção da Lignina Kraft

Os ensaios foram realizados nos Laboratórios do Departamento de Metalurgia e Química-DMQTIM, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEFET-MG, Campus VII Unidade Timóteo.

A fonte da lignina deste trabalho foi o licor preto fraco, uma solução viscosa com cerca de 15% de sólidos dissolvidos e fortemente alcalina (pH 13). O licor utilizado é o filtrado obtido logo após a saída do digestor da CENIBRA – Celulose Nipo-Brasileira S.A. São principalmente os grupos fenólicos formados no cozimento a partir da lignina que proporcionam solubilidade a esta parte da madeira. Sua neutralização iria reduzir a hidrofilia e assim precipitar uma parte considerável da lignina.

Segundo Lin e Dence [6], existem grandes diferenciações na composição química da lignina obtida de aproveitamento de licores residuais de processo de obtenção de polpa celulósica, em função do grau de deslignificação dos processos de polpação e

das condições de acidificação. Basicamente, os grupos funcionais presentes na lignina são: OH Fenólico, OH Alifático, HS, e OCH<sub>3</sub>.

O método de precipitação utilizado neste trabalho foi semelhante à metodologia *Lignoboost* [7, 8], o tratamento com reagentes ácidos. Após a etapa de precipitação, a solução foi filtrada e lavada com solução de ácido fosfórico 0,1M. O sólido obtido foi levado à estufa para secagem a 60°C, até se atingir massa constante.

## 2.2 Determinação do índice de consistência das argamassas

A preparação das argamassas foi feita no Laboratório de Materiais de Construção do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEFET-MG, Campus VII Unidade Timóteo. Foi utilizado como aglomerante o cimento Portland de Alto-Forno CP-III 40, amplamente comercializado na região do Vale do Aço. Tal cimento é considerado o mais ecológico de todos os cimentos brasileiros, pois ao ser aproveitado o rejeito siderúrgico escória de alto-forno na sua fabricação, há a preservação das jazidas naturais e um menor lançamento de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Conforme a NBR 5735:1991 [9], os componentes do cimento Portland de Alto-Forno, em percentuais em relação à massa do cimento, são: 25–65 de clínquer+sulfatos de cálcio, 35–70 de escória de alto-forno e de 0–5 de material carbonático. Na nomenclatura CP-III 40, o algarismo 40 indica (em MPa) o valor mínimo de resistência à compressão após 28 dias de cura úmida. O cimento Portland de Alto-Forno CP-III equivale ao norte-americano ASTM Type IP, Portland pozzolan cement [10]. O agregado miúdo utilizado foi uma areia quartzosa, lavada, obtida no Areal, localizado às margens do Rio Piracicaba, no Bairro Cachoeira do Vale, município de Timóteo, MG.

Para a dosagem das argamassas foi definida uma composição (traço), em peso, de 1:3, conforme a NBR 7215:1996 [11]. Esta norma também define um fator água/cimento (a/c) de 0,48. Entretanto, a utilização de tal quantidade de água resultaria numa mistura extremamente seca, que dificultaria a percepção da atuação do aditivo que neste momento se desenvolve. Sendo assim, a quantidade de água, definida por tentativa, foi aquela que produziu uma mistura mais homogênea, resultando num fator água/cimento (a/c) de 0,60, baseando-se em trabalho prévio [12]. Para determinação da influência da lignina Kraft no índice de consistência das argamassas, foram adicionadas diferentes porcentagens de lignina em relação à massa de cimento utilizada: 0; 0,05; 0,1; 0,3; 0,5. Para a definição das porcentagens de acréscimo foram utilizados procedimento adotado por outros autores [13] e recomendações de fabricante de aditivo para concretos e argamassa [14]. As composições de argamassas preparadas estão mostradas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Composições de argamassas para ensaios de índice de consistência.

Composição	Cimento (g)	Areia (g)	Água (g)	Lignina Kraft (% em relação à massa de cimento)
1	624	1872	375	0
2	624	1872	375	0,05
3	624	1872	375	0,1
4	624	1872	375	0,3
5	624	1872	375	0,5

As argamassas podem ser classificadas, segundo o índice de consistência, como secas, plásticas ou fluidas, conforme mostra a Tabela 2. O aparato utilizado para a determinação do índice de consistência é denominado mesa de consistência ou *flow table*. Para realização do ensaio, o tampo da mesa foi umedecido com um pano úmido, bem como a parede do molde tronco-cônico, de modo que a umidade nestas superfícies reduziu o atrito. Logo após a preparação dos traços de argamassa, eles foram usados para preencher o molde tronco-cônico, colocado centralizado sobre a mesa de consistência. Os traços de argamassa foram colocados em três camadas sucessivas, com alturas próximas, e aplicadas em cada uma delas 15, 10 e 5 golpes, respectivamente, com o soquete, de modo a distribuí-las uniformemente. Após a realização do rasamento da superfície da argamassa no molde tronco-cônico, passando uma régua metálica rente à borda do molde tronco-cônico com movimentos curtos de vai-e-vem ao longo de toda a superfície, foi acionada uma manivela da mesa de consistência, de modo que o tampo da mesa subiu e desceu 30 vezes em 30 segundos, de maneira uniforme. Imediatamente após a última queda do tampo da mesa, mediu-se com paquímetro o espalhamento da argamassa em 3 diâmetros diferentes, tomados em pares de pontos uniformemente distribuídos. O índice de consistência da argamassa corresponde à média das três medidas de diâmetro, expressa em milímetros e arredondada ao número inteiro mais próximo, de acordo com a NBR 13276:2002 [15].

**Tabela 2.** Classificação das argamassas conforme o índice de consistência.

<b>Índice de consistência</b>	<b>Classificação</b>
<250 mm	Argamassas secas
de 250 mm a 360 mm	Argamassas plásticas
>360 mm	Argamassas fluidas

### 2.3 Determinação da influência da lignina Kraft no tempo de pega do cimento

De acordo com a NBR 11768:1992 [16], aditivos são produtos adicionados em pequenas quantidades ao concreto, que modificam algumas de suas propriedades no sentido de melhor adequá-las a determinadas condições. Os aditivos são classificados de acordo com requisitos aos quais o material deve obedecer, podendo ser: plastificantes (P), retardadores (R), aceleradores (A), plastificantes retardadores (PR), plastificantes aceleradores (PA), incorporadores de ar (IAR), superplastificantes (SP), superplastificantes retardadores (SPR), superplastificantes aceleradores (SPA). A Tabela 3 apresenta os requisitos de desempenho que os aditivos devem atender.

Para determinação da influência da lignina Kraft no tempo de pega do cimento, foram preparadas composições de pasta de cimento, adicionando-se diferentes porcentagens de lignina em relação à massa de cimento utilizada, conforme mostrado na Tabela 4.

A determinação da quantidade ideal de água para formulação de uma composição de uma pasta de consistência normal, conforme a NBR NM 43:2003 [17], foi feita adicionando-se em 500g de cimento diferentes quantidades de água. Cada composição preparada foi submetida a um ensaio no aparelho de Vicat, no qual a pasta é colocada em um molde tronco-cônico e a sonda de Tetmajer, cilíndrica de base plana, deste aparelho desce por gravidade pela pasta, devendo ficar a  $(6 \pm 1)$ mm da placa do fundo, sendo a leitura feita após 30 segundos de sua liberação.

A realização do ensaio de tempo de pega, que utiliza a pasta de consistência normal determinada no passo anterior, segue o mesmo procedimento para determinação da quantidade de água para obtenção da pasta de consistência normal. No entanto, utiliza-se agora a agulha de Vicat, que deve descer por gravidade pela pasta. O início de pega do cimento é comprovado quando a agulha fica a 1 mm da placa do fundo, sendo a leitura feita após 30 segundos da liberação da agulha, conforme a NBR NM 65:2003 [18]. Os ensaios foram realizados em triplicata.

**Tabela 3.** Requisitos de desempenho dos aditivos.

Propriedades		Tipos de aditivo									
		P	R	A	PR	PA	IAR	SP	SPR	SPA	
Redução de água (% mínima)		6	-	-	6	6	-	12	12	12	
Tempos de pega (h:min) (MB - 2665)	início	no mínimo	-	+ 1:00	- 1:00	+ 1:00	± 1:00	-	-	+ 1:00	- 1:00
		não mais que	- 1:00 + 1:30	- + 3:30	- - 3:30	- + 3:30	- - 3:30	+ 1:15 - 1:30	- 1:00 + 1:30	- + 3:30	- - 3:30
	fim	no mínimo	-	-	- 1:00	-	- 1:00	-	-	-	- 1:00
		não mais que	- 1:00 + 1:30	- + 3:30	- - -	- + 3:30	- - -	- 1:15 + 1:30	- 1:00 + 1:30	- + 3:30	- -
	Exsudação de água (%) (ASTM C 232)		-	-	-	-	-	2,0	-	-	-

Fonte: Adaptado de NBR 11768 :1992. P – Plastificante / R – Retardador / A – Acelerador / PR – Plastificante Retardador / PA – Plastificante Acelerador / IAR – Incorporador de ar / SP – Superplastificante / SPR – Superplastificante retardador / SPA – Superplastificante acelerador.

**Tabela 4.** Composições de pasta de cimento utilizadas para ensaio de tempo de pega.

Composição	Cimento (g)	Água (g)	Lignina Kraft (% em relação à massa de cimento)
1	500	168	0,0
2	500	168	0,05
3	500	168	0,1
4	500	168	0,3
5	500	168	0,5

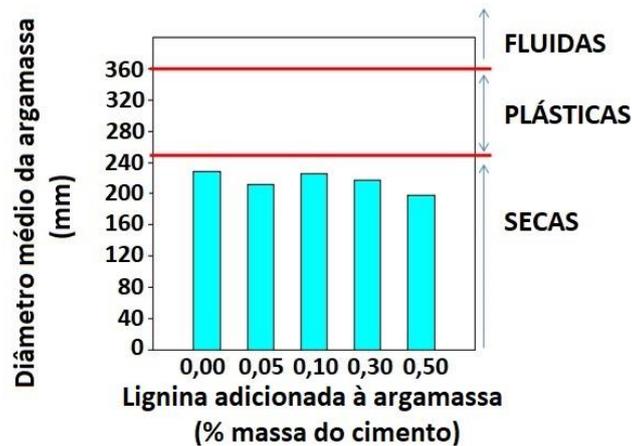
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Influência da lignina Kraft no índice de consistência da argamassa

A Figura 1 apresenta execução da medição do diâmetro da argamassa sobre o tampo da mesa de queda, para a determinação do índice de consistência. A Figura 2 apresenta os valores médios dos índices de consistência, para argamassas com diferentes porcentagens de adição de lignina, na qual o eixo das abscissas representa o percentual de lignina adicionada à composição em relação à massa de cimento utilizada e o eixo das ordenadas representa o diâmetro médio (em mm).



**Figura 1.** Determinação do diâmetro da argamassa sobre o tampo da mesa de queda.



**Figura 2.** Diâmetro médio *versus* percentagens de adição de lignina Kraft às argamassas e classificação dos traços obtidos.

Conforme afirma a NBR 11768:1992 [16], um aditivo plastificante (P) tem por finalidade aumentar o índice de consistência, por conseguinte aumentando a fluidez, mantendo a quantidade de água de amassamento ou ainda reduzindo até 6% a quantidade de água de amassamento. Segundo Mehta e Monteiro [10], as partículas de cimento naturalmente tendem a se aglomerar, formando flocos, devido à atuação de forças de atração do tipo van der Waals entre arestas, cantos e superfícies, carregados positivamente e negativamente. Na produção de uma argamassa ou concreto, quando a água de amassamento é adicionada, parte dela fica presa no interior destes flocos formados, ficando assim impedida de ser utilizada para lubrificar a mistura. Quando um aditivo químico tensoativo, com cadeia hidrófila, é adicionado ao sistema água-cimento, a cadeia polar é adsorvida ao longo da superfície da partícula de cimento e, em vez de orientar uma extremidade não polar em direção à água, o tensoativo orienta uma extremidade polar, diminuindo assim a tensão superficial da água e tornando a partícula de cimento hidrófila. Camadas de moléculas de água dipolares circundam as partículas hidrófilas de cimento e, como resultado, evitam a sua floculação. Obtém-se, então, um sistema com boa dispersão.

A observação dos resultados apresentados na Figura 2 mostra que a adição de diferentes quantidades de lignina não resultou em alteração do índice de consistência das argamassas, sendo as argamassas classificadas como secas antes e após as adições. Sendo assim, a lignina não pode ser classificada como aditivo plastificante (P). Contudo, deve aqui ser divulgado que talvez o método de determinação da plasticidade por mesa de queda não tenha a sensibilidade suficiente para essa proposição, ou a quantidade de aditivo acrescentada às argamassas foi insuficiente para que se notasse qualquer efeito.

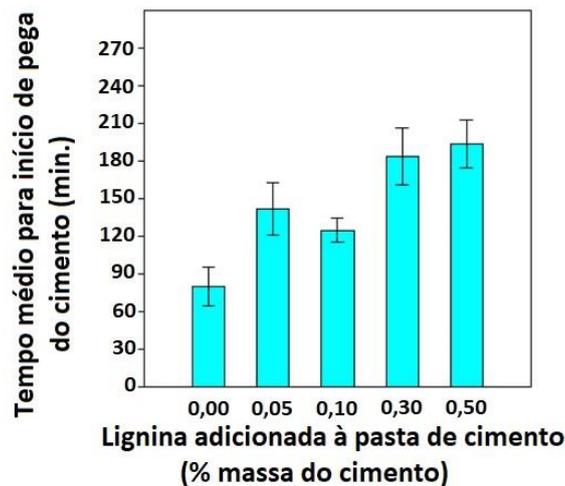
Com relação à trabalhabilidade, Neville [19] afirma que ela é uma propriedade física inerente aos concretos e argamassas recém misturados, sem referência às circunstâncias de um tipo particular de construção, que determina a facilidade e a homogeneidade com a qual podem ser misturados, lançados, adensados e acabados. Mehta e Monteiro [10] complementam afirmando que um concreto com boa trabalhabilidade pode ser lançado e compactado com pequeno ou nenhum esforço e, ao mesmo tempo, é suficientemente coeso para ser manuseado sem segregação ou exsudação. Observou-se que a adição de lignina não produziu redução alguma na trabalhabilidade das argamassas, sendo benéfico tal efeito.

### 3.2 Influência da lignina Kraft no tempo para início de pega da pasta de cimento

A Figura 3 apresenta execução do ensaio de determinação do início de pega da pasta de cimento. A Figura 4 apresenta os valores médios dos tempos de início de pega, para pastas de cimento de diferentes porcentagens de adição de lignina, juntamente com barras que representam o desvio padrão com um intervalo de 95% de confiança, na qual o eixo das ordenadas representa o tempo médio para início de pega (em min.) e o eixo das abscissas o percentual de lignina utilizada em relação à massa de cimento de cada composição.



**Figura 3.** Determinação do início de pega da pasta de cimento, utilizando agulha de Vicat.



**Figura 4.** Tempo médio para início de pega do cimento *versus* porcentagens de adição de lignina Kraft à pasta de cimento.

Segundo Mehta e Monteiro [10], o fenômeno denominado “pega do cimento” compreende a evolução das propriedades mecânicas da pasta no início do processo de endurecimento. É um fenômeno artificialmente definido como o momento em que a pasta adquire certa consistência que a torna imprópria a um trabalho. Quando o cimento Portland é disperso em água, os compostos de cálcio formados a alta temperatura (provenientes do clínquer moído) e o sulfato de cálcio (proveniente do gesso adicionado) tendem a entrar em solução, pois são instáveis em meio aquoso. A fase líquida torna-se, então, rapidamente saturada em várias espécies iônicas, tais como:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ . Algum tempo depois os íons  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{Ca}^{2+}$  serão responsáveis por cristalizar a etringita, cuja morfologia é a de pequenas agulhas prismáticas. Nos cimentos Portland normalmente retardados é a precipitação da etringita que contribui para o enrijecimento (perda da consistência), para a pega (solidificação da pasta) e para o desenvolvimento da resistência inicial. Conforme afirma a NBR 11768:1992 [16], um aditivo retardador de pega (R) aumenta o tempo de transição do estado plástico para o estado endurecido do concreto. Analisando os resultados apresentados na Figura 4 observa-se que a adição de lignina, em relação à massa de cimento utilizada, produz um retardo no tempo de início de pega, em relação ao traço que não contém adição de lignina, para todas as porcentagens adicionadas. Nas composições com adições a partir de 0,3%, o tempo de pega é retardado em, aproximadamente, duas horas, em relação ao tempo de pega apresentado pela pasta sem adição da lignina. Comprova-se então que a lignina pode ser classificada como aditivo retardador (R).

#### 4 CONCLUSÃO

A adição de lignina Kraft não produziu alterações no índice de consistência das argamassas, não podendo a lignina ser classificada como aditivo plastificante (P). Complementarmente, a lignina não produziu redução na trabalhabilidade das argamassas, sendo benéfico tal efeito. A lignina Kraft pode ser classificada como aditivo retardador (R), para adições acima de 0,3% desta em relação à massa de cimento a ser utilizada. O efeito retardador da lignina Kraft aponta esta como

alternativa verde aos aditivos atualmente utilizados para este fim. A posição do Brasil entre os maiores produtores mundiais de celulose representa um potencial de disponibilidade da matéria prima para a aplicação estudada, tornando os avanços dos estudos nessa área promissor.

## Agradecimentos

Este trabalho contou com auxílios dos Programas Institucionais de Iniciação Científica CNPq–CEFET-MG N° 39/17 de 05 de maio de 2017 e CNPq–CEFET-MG N° 34/18 de 02 de maio de 2018. Os autores desejam agradecer à empresa CENIBRA – Celulose Nipo-Brasileira S.A., por ter gentilmente cedido o licor preto necessário à realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

1. Moura, et al. Análise da eficiência energética em segmentos industriais selecionados: segmento celulose e papel. 2018 [acesso em 13 abr. 2019]; Contrato N° CT-EPE-004/2017 Página 1. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/documents/10584/105176754/PRODUTO+4\\_Vpublicacao.pdf/f48424df-30ef-464e-ac90-e30d97f41936](http://www.mme.gov.br/documents/10584/105176754/PRODUTO+4_Vpublicacao.pdf/f48424df-30ef-464e-ac90-e30d97f41936)
2. Cardoso M, Oliveira ED, Passos ML. Chemical composition and physical properties of black liquors and their effects on liquor recovery operation in Brazilian pulp mills. Fuel. 2009. 88: 756-763.
3. Vishtal A, Kraslawski A. Challenges in industrial applications of technical lignin. BioResources. 2011. 6(3):3547-3568.
4. Veloso DP. Isolamento e análise estrutural de ligninas. Química Nova. 1993. 16(5):435-448
5. Hernández JA. Lignina organosolv de Eucalyptus dunnii maiden, alternativa para a síntese de adesivos de poliuretano para madeira. eduCapes. 2013. [acesso em 02 mai. 2019]. Disponível em: <http://educapes.capes.gov.br/handle/1884/14400>.
6. Lin SY, Dence CW. Methods in lignin chemistry. Berlin: Springer-Verlag; 1992.
7. Tomani P. The Lignoboost process. Celulose Chem. Technol. 2010. 44 (1-3): 53-58.
8. Adel A M, El-Wahab ZHA.; Ibrahim A, Al-Shemy M T. Characterization of microcrystalline cellulose prepared from lignocellulosic materials. Part I. Acid catalyzed hydrolysis. Bioresource Technology. 2010. 101:4446-4455.
9. NBR 5735:1991. Cimento Portland de alto forno. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1991.
10. Mehta, P K, Monteiro, P J M. Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais. 1. ed. São Paulo, Pini, 1994.
11. NBR 7215:1996. Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1996.
12. Souza RS, Silva Neto A, Oliveira AM, Amaral EC, Tolentino E. Desempenho de argamassas produzidas com a incorporação de resíduo de lama de cal da indústria de celulose. 73º Congresso Anual da ABM – vol.73, num.73. 2018. [acesso em 15 set. 2019]. Disponível em: <https://abmproceedings.com.br/ptbr/article/desempenho-de-argamassas-produzidas-com-a-incorporao-de-resduo-de-lama-de-cal-da-industria-de-celulose>.
13. Pereira DD, Silva Júnior FA, Gonzaga LBT. Avaliação da influência de plastificantes a base de sais sulfanatados e carboidratos na trabalhabilidade do concreto contendo brita calcária beneficiada para eliminar o material pulverulento. 22º Congresso Brasileiro de

- Engenharia e Ciência dos Materiais – CBECIMAT. 2016. [acesso em 15 set. 2019]. Disponível em: <http://www.metallum.com.br/22cbecimat/anais/autores.html>.
14. VEDACIT. [acesso em 15 set. 2019]. Disponível em: <http://www.vedacit.com.br/produtos/cemix>.
  15. NBR 13276:2002. Argamassa para assentamento e revestimento de tetos-Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2002.
  16. NBR 11768:1992. Aditivos para concreto e cimento Portland. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1992.
  17. NBR NM 43:2003. Cimento Portland-Determinação de pasta de consistência normal. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2003.
  18. NBR NM 65:2003. Cimento Portland-Determinação do tempo de pega. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2003.
  19. Neville, A M. Propriedades do Concreto. 2. ed. São Paulo, Pini Ltda., 1997.