



ANÁLISE DO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE PAPEL RECICLADO

Mariana de Sousa Prazeres¹, Marcelo de Souza Picanço², Moises de Araujo Santos Jacinto³, Luiz Mauricio Maues⁴, Bruna da Costa Silva⁵

1 Engenheira civil. Mestranda em Estruturas e Construção Civil pela Universidade Federal do Pará UFPA – Belém, Pará, Brasil.

2 Engenheiro civil. Doutor em Estruturas e Construção Civil pela Universidade Federal do Pará UFPA – Belém, Pará, Brasil.

3 Engenheiro civil. Mestrando em Estruturas e Construção Civil pela Universidade Federal do Pará UFPA – Belém, Pará, Brasil.

4 Engenheiro civil. Doutor em Estruturas e Construção Civil pela Universidade Federal do Pará UFPA – Belém, Pará, Brasil.

5 Engenheira civil. Mestranda em Recursos Hídricos e Saneamento ambiental pela Universidade Federal do Pará UFPA – Belém, Pará, Brasil.

Email de contato: marianasprazeres@gmail.com

Recebido em: 15/05/2020 – Aprovado em: 15/06/2020 – Publicado em: 30/06/2020
DOI: 10.18677/EnciBio_2020B52

RESUMO

Devido ao alto nível de produção e consumo de concreto no país, e a crescente preocupação com as questões econômicas e ambientais, a confecção do concreto tem sido estudada constantemente com o objetivo de melhorar suas características. O presente estudo apresenta dados acerca do uso de papel reciclado incorporado para concretos de baixa resistência, comparando os resultados obtidos de resistência à compressão axial, absorção e *slump test* entre um concreto padrão de traço 1:2:3: 0,6 e concreto alterados com papel, nas proporções de 5%, 10%, 15%, e 20% de papel em relação ao volume de cimento da mistura. Os resultados apresentaram-se satisfatórios, com o aumento da resistência à compressão e absorção de água à medida que a quantidade de papel é elevada, entretanto, a absorção apresentou crescimento de apenas 0,57%. A trabalhabilidade do concreto apresentou decréscimos enquanto o teor de papel na mistura foi elevado, dando ao concreto uma consistência mais seca devido à absorção da água de amassamento pelas fibras de celulose acrescidas.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto, papel reciclado, propriedades

FRESH AND HARDENED CONCRETE PROPERTIES ANALYSIS WITH RECYCLED PAPER

ABSTRACT

Due to the high level of production and consumption of concrete in the country, and the growing concern with economic and environmental issues, the making of concrete has been studied constantly in order to improve its characteristics. The present study presents data about the use of recycled paper incorporated for low-

strength concretes, comparing the results obtained from resistance to axial compression, absorption and slump test between 1: 2: 3: 0.6 standard concrete and altered concrete with paper, in the proportions of 5%, 10%, 15%, and 20% of paper in relation to the cement volume of the mixture. The results were satisfactory, with increased resistance to compression and water absorption as the amount of paper is high, however, the absorption showed a growth of only 0.57%. The workability of the concrete decreased while the paper content in the mixture was high, giving the concrete a drier consistency due to the absorption of the kneading water by the added cellulose fibers.

KEYWORDS: Concrete, recycled paper, properties.

INTRODUÇÃO

Completamente disseminado no setor da construção civil, estima-se que o consumo de concreto à nível mundial alcance 11 bilhões de toneladas por ano. O elevado consumo é um reflexo de propriedades importantes do concreto que justificam sua predominância no setor construtivo, dentre as quais tem-se a alta disponibilidade e baixo custo da matéria-prima, a vasta aplicabilidade e a boa resistência à água. Estas quatro características tornam o concreto um material de construção versátil, utilizado em edificações simples de um pavimento, até edificações complexas como grandes barragens (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Devido ao alto nível de produção e consumo de matéria-prima, a preocupação com as questões econômicas e ambientais torna-se crescente. A confecção do concreto tem sido estudada constantemente com o objetivo de melhorar as características mecânicas e durabilidade, visando redução dos impactos ambientais gerados no processo de produção usual. A incorporação de resíduos à mistura é considerada uma prática sustentável que reduz, direta e indiretamente, os impactos proporcionados pela produção do concreto (MONTEIRO et al., 2017).

O setor produtor de papel e celulose apresentou crescimento considerável, 7% ao ano nos últimos 30 anos, devido aos investimentos em ciência e tecnologia na área, e outros fatores positivos como clima, solo, matéria-prima de alta qualidade e planejamento e gestão florestal (CGEE, 2016). Em contraste ao crescimento, tem-se preocupação com o reflorestamento através da monocultura, consumo excessivo de água e a geração de resíduos (EQ JÚNIOR, 2020).

O relatório anual da Indústria Brasileira das Árvores determina que, apesar da retração volumétrica em papéis especiais, papel-cartão, embalagens e papel imprensa, as produções de papel *tissue* e papel de imprimir e escrever aumentaram, respectivamente, 2,9% e 0,6%. Apesar da produção em 2016 ter reduzido para 10,3 milhões de toneladas, o país sobe uma colocação no *ranking* mundial, em relação ao ano anterior, de produtores de papel, tornando-se o oitavo na classificação de maiores produtores de papel (IBÁ, 2017).

Com índices de produção e consumo elevados, surgiram complicações e questionamentos quanto ao manuseio do material. A alternativa sugerida, com potencial econômico e socialmente aceitável é a reciclagem deste papel, visando, de acordo com Fonseca (2013), a preservação de recursos naturais (matéria-prima, energia e água), a minimização da poluição e a diminuição da quantidade de lixo que vai para os aterros.

Apesar da prática de reciclagem no Brasil ser bastante difundida, ainda existem limitações quanto a este processo. Segundo Cardoso et al., (2013) o papel apresenta uma quantidade de reciclagem máxima em comparação aos outros materiais classificados como recicláveis. São estimados quatro a seis ciclos de

processamento para alcançar o limite da reciclagem em função das fibras de papel possuírem alterações no comprimento e perderem material fibroso, comprometendo suas características físicas.

Soares et al., (2016) expõem que a crescente presença e aplicação do papel na construção civil como insumo para fabricação de novos produtos, ecológicos e sustentáveis, entre estes as telhas ecológicas, fabricadas a partir de resíduos pós-consumo com a mesma funcionalidade das telhas usuais e competitividade considerável em relação as telhas de fibrocimento no mercado por serem leves e flexíveis.

Como vantagem da aplicação do papel como adição em concreto tem-se a alteração do volume aparente, tornando-o economicamente interessante por apresentar maior volume de mistura, porém com a mesma quantidade de cimento, areia, brita e água, apresentando maior rendimento do compósito gerado e possibilitando assim maior produtividade por parte das empresas que adotarem o método (SOARES et al., 2016).

O objetivo deste trabalho experimental foi verificar a influência da incorporação do papel reciclado nos estados fresco e endurecido do concreto, bem como identificar o teor ótimo de incorporação do papel reciclado, conforme resultados mecânicos e físicos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para maior e melhor coleta de dados acerca da mudança das características do concreto adicionado de papel reciclado foram escolhidas cinco porcentagens de acréscimo do papel no concreto, sendo 0%, 5%, 10%, 15% e 20%, em relação ao volume de cimento. A dosagem do concreto padrão foi realizada a partir do consumo de cimento necessário, definido a partir da caracterização dos materiais aplicados, para um traço em massa de cimento, areia, brita e relação água/cimento em 1:2:3:0,6. Este traço é corroborado por diversos autores, tais como Helene e Andrade (2010), que o indicam para estudo experimental, a partir da avaliação preliminar com mistura em betoneira.

Tratamento do papel adicionado

As folhas em formato A4, todas reaproveitadas, foram previamente cortadas em tiras com auxílio de máquina, em seguida, foram cortadas em pedaços menores, conforme a figura 1(a) apresenta, e em seguida trituradas por meio de um liquidificador, submersas em água para facilitar o processo de trituração, apresentando no fim do processo uma consistência pastosa. A pasta formada foi colocada em peneiras para secagem manual por meio de movimentos circulares para retirada da água presente na mistura, até alcançar o formato de pequenas pelotas completamente secas como apresenta a figura 1(b), para que não houvesse alteração na relação água/cimento. As pelotas de papel foram adicionadas em 0%, 5%, 10%, 15% e 20% em relação ao volume de cimento adotado.

FIGURA 1 (a) Tiras de papel após processamento em máquina e (b) pelotas de papel após secagem.



FONTE: Autores, (2018).

Moldagem de corpos-de-prova e ensaios considerados

A partir do traço padrão, foram confeccionados CP's (corpos-de-prova) cilíndricos para o concreto padrão e para os concretos adicionados de papel reciclado, seguindo a sistemática apresentada na figura 2(a). Foram considerados oito CP's para o ensaio de resistência à compressão, com rompimento em pares nos 7, 14, 21 e 28 dias, conforme a norma NBR 5739 (ABNT, 2018). Para o ensaio de absorção de água, conforme NBR 9778 (ABNT, 2005), contabilizou-se três CP's para cada concreto produzido, totalizando assim, cinquenta e cinco CP's moldados. A tabela 1 abaixo apresenta um resumo dos ensaios considerados e o total de amostras produzidas.

TABELA 1 Tabela-resumo de ensaios e quantidade de CP's produzidos.

Tipos de Concreto	Padrão	5%	10%	15%	20%	Ensaio realizado	Referências
	8	8	8	8	8	Resistência à compressão	NBR 5739
Quantidade de CP	3	3	3	3	3	Absorção de água	NBR 9778
	-	-	-	-	-	Trabalhabilidade	NBR NM 67
Somatório					55		

FIGURA 2 (a) Materiais para moldagem dos corpos-de-prova com adição de papel, (b) *Slump test* em andamento.



FONTE: Autores, (2018).

Slump Test

O *slump test* ou abatimento do tronco de cone é realizado quando o concreto ainda se encontra em estado fresco, e define como parâmetro a sua consistência, identificada para avaliação da mudança de consistência conforme o acréscimo de papel na mistura, seguindo a NBR NM 67 (ABNT, 1998). O tronco de cone, a haste de adensamento e a placa de base foram previamente lavadas para retirada de impurezas que pudessem comprometer o teste. O concreto fresco foi introduzido no tronco de cone por meio de uma pá, preenchendo e adensando o cone em três camadas distintas, com 25 golpes para cada camada preenchida. Em sequência, retirou-se o tronco de cone metálico virando a base para cima. A haste de adensamento serve como guia para o posicionamento adequado da trena, auxiliando na aferição do abatimento obtido. O procedimento está apresentado na figura 2(b).

Moldagem e Cura

Todos os CP's foram moldados e curados conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015), com moldes cilíndricos de diâmetros de 10 cm e altura de 20 cm. Os moldes foram previamente untados em óleo para possibilitar a retirada posterior dos CP's sem prejudicar o acabamento externo dos concretos moldados. O adensamento manual foi realizado em duas camadas, com 12 golpes em cada camada garantindo a uniformidade e retirada de vazios do interior do molde.

FIGURA 3 CP's após moldagem, em local protegido de intempéries.



FONTE: Autores,(2018).

Os corpos-de-prova foram identificados e posicionados em local protegido de intempéries conforme figura 2.4, livre de qualquer trepidação que pudesse perturbar o concreto durante as primeiras 24 horas após moldagem. Findadas as 24 horas, os CP's foram desmoldados, devidamente identificados e mantidos em tanque de cura, com água a temperatura constante e em solução saturada de hidróxido de cálcio, sendo retirados apenas nos tempos definidos no experimento (7, 14, 21 e 28 dias) para execução dos ensaios de resistência à compressão e absorção de água.

Absorção de água

A fim de identificar possíveis alterações na absorção de água do concreto com o acréscimo do papel na mistura, o ensaio de absorção de água foi realizado conforme NBR 9778 (ABNT, 2005), esta norma especifica uma quantidade mínima de três amostras para garantir maior precisão ao identificar o resultado. Os corpos-de-prova foram submetidos a secagem durante 72 horas à temperatura constante em estufa. Após o período, as três amostras foram pesadas, obtendo-se a massa seca em estufa, M_s , e levadas ao saturamento em tanque de água durante também 72 horas. Por fim, as três amostras foram secas superficialmente e pesadas conforme a figura 4(a), obtendo-se a massa do corpo-de-prova saturado, M_{sat} . Desta forma, para obtenção da absorção, a equação 1 foi aplicada.

FIGURA 4 (a) Ensaio de absorção de água e (b) ensaio de resistência à compressão em andamento



FONTE: Autores, (2018).

Equação 1:

$$\left(\frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \right) * 100 \quad (1)$$

Resistência à compressão

Antes do rompimento dos corpos-de-prova submetidos à compressão axial foi necessário garantir que as superfícies dos CP's estivessem uniformes e planas para que a força imposta pela máquina não sofresse alterações na leitura por deformações ou incoerências na superfície, assim, o capeamento nas faces dos corpos-de-prova foi realizado para garantir a planicidade da superfície em contato com a máquina. Para garantir a secagem adequada da pasta de capeamento, os CP's foram retirados do tanque de cura e capeados 24 horas antes da execução do ensaio, nas datas de rompimento especificadas (7, 14, 21 e 28 dias). Os CP's foram centralizados na máquina, e esta por sua vez, aplicou a força axial necessária para o rompimento de cada um dos corpos-de-prova. A leitura exposta na máquina, em tf,

foi transformada para kgf, e considerando a área circular de aplicação da força com diâmetro de 10 cm do corpo-de-prova, a resistência à compressão foi calculada a partir da equação 2.

Equação 2:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

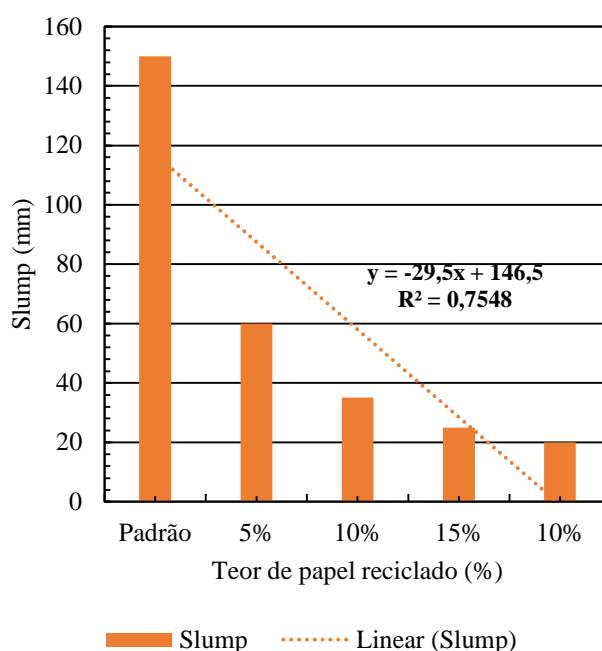
Slump Test

Após a determinação da consistência de todos os concretos considerados neste estudo, tais sejam o padrão (ou 0% de papel), 5% de papel, 10% de papel, 15% de papel e 20% de papel, foram obtidos os seguintes resultados, conforme exposto na figura 5 abaixo. Observou-se a perda de trabalhabilidade ao acréscimo do papel reciclado, bem como a continuidade desta perda ao elevar o teor de adição de papel.

A redução da trabalhabilidade do concreto padrão para o concreto 5% foi de 60%, para o concreto 10% teve-se 76%, o concreto 15% teve-se 83% e por fim, o concreto com 20% apresentou uma redução de 86% do *slump*. A partir do uso de linha de tendência é possível afirmar que ao elevar os teores de papel reciclado na mistura a trabalhabilidade será reduzida.

Wang et al., (2018) optam por fixar a trabalhabilidade das argamassas em 190 ± 10 mm e demonstram que ao elevar o teor de adição de fibras de papel reciclado também eleva-se o consumo de superplastificante para mantimento da trabalhabilidade. Os autores elucidam a relação da perda de trabalhabilidade com a presença da celulose hidrofílica e estrutura porosa no papel reciclado, conforme a água de amassamento utilizada para a hidratação do cimento é absorvida, logo, há perda da trabalhabilidade.

FIGURA 5 Variação do *slump*.



— Slump - - - - - Linear (Slump)

FONTE: Autores, (2018).

Absorção de água

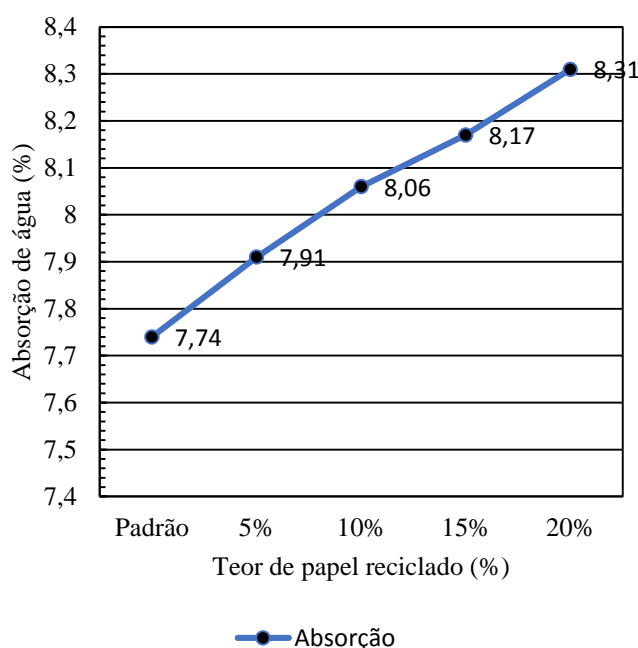
Aplicando os valores de massa seca e massa saturada dos CP's considerados na equação 1, o cálculo de absorção para cada CP foi obtido. Para maior abrangência experimental três corpos-de-prova foram adotados para cada traço considerado, logo, a absorção obtida em cada traço é proveniente de média aritmética realizada entre os três valores considerados. A figura 6 sumariza as informações, bem como apresenta o acréscimo da absorção média ao longo da elevação do teor de papel reciclado na mistura.

O concreto padrão apresentou a menor absorção média, 7,74%, enquanto o concreto com 20% de papel apresentou a maior absorção, 8,31%, um acréscimo de 0,57%. A absorção de água aumentou conforme o teor de papel reciclado eleva-se, tendência decorrente da capacidade hidrofílica das fibras presentes no papel.

Akinwumi et al., (2014) demonstraram por blocos de concreto maciços a absorção de água crescente conforme o teor de papel reciclado é elevado, apresentando a absorção máxima no teor de 80%, entretanto, os blocos produzidos com papel tipo ofício apresentam menor absorção quando comparados aos blocos fabricados com jornal.

Apesar da elevação da absorção, percebeu-se com resultados posteriores de resistência à compressão que não houve prejuízo mecânico, ainda que o acréscimo da absorção indique maior porosidade do concreto e por consequência, redução das resistências mecânicas.

FIGURA 6 Variação da absorção.



FONTE: Autores, (2018).

Resistência à compressão

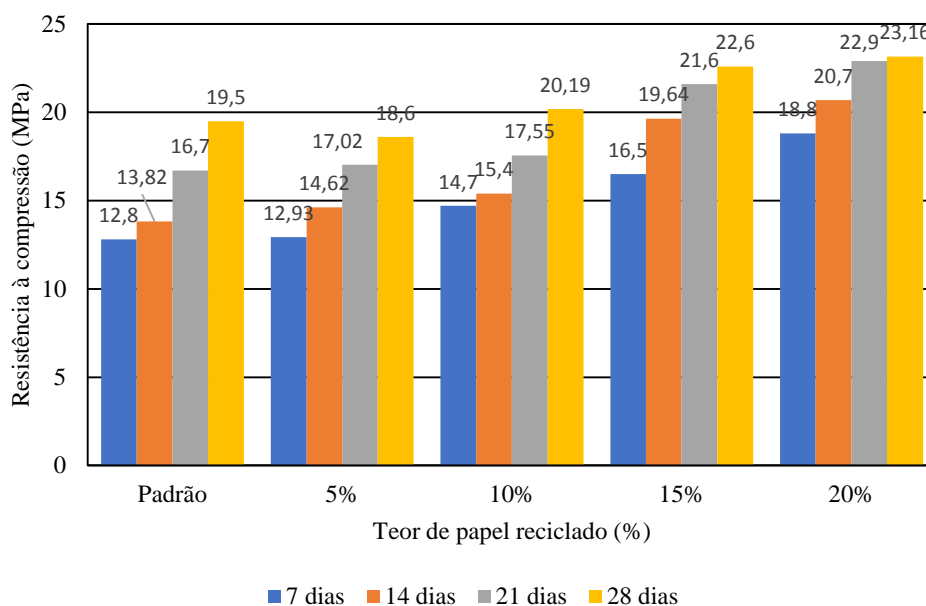
Os resultados, apresentados na figura 7, demonstram que o papel reciclado presente no concreto apresentou melhoria na resistência à compressão, e ao elevar o teor de papel reciclado, a resistência também apresentou melhorias. Esta afirmação pode ser observada no rompimento inicial (7 dias), no qual o concreto padrão apresentou 12,8 MPa, enquanto o concreto com 5% apresentou 12,93 MPa,

10% apresentou 14,7 MPa, 15% apresentou 16,5 MPa, e 20% apresentou a maior resistência aos sete dias, com 18,8 MPa.

A curto prazo, o preenchimento dos espaços com as partículas de celulose permitiu maior coesão, elevando a resistência nas primeiras idades. Considerando o crescimento da resistência nos rompimentos tardios (21, 28 dias), ao absorver a água de amassamento durante o processo de hidratação do cimento, estima-se que as partículas de celulose liberaram ao longo do tempo a água, promovendo hidratação tardia e por fim, beneficiando a formação de produtos hidratados do cimento. O concreto que apresentou maior resistência apresentou 20% de adição de papel reciclado, e obteve 23,16 MPa aos 28 dias.

Bagala e Nanthagopalan (2015) obtiveram resultados similares acerca do desenvolvimento da resistência para teores crescentes de papel, apesar de utilizarem cubos de concreto e considerarem jornais como matéria-prima. A relação cimento:papel ótima (c/p = 3.0), em massa, obteve aos 7 dias uma resistência de 3,86 MPa e aos 28 dias alcançou 5,40 MPa, enquanto o concreto padrão (c/p = 1.0) apresentou aos 7 dias 0,96 MPa e para os 28 dias alcançou 1,51 MPa.

FIGURA 7 Variação da resistência à compressão dos concretos com teores de papel reciclado distintos.



FONTE: Autores, (2018).

CONCLUSÕES

A incorporação do papel reciclado influencia as propriedades do concreto em estado fresco e endurecido. A resistência à compressão do concreto modificado aumentou conforme o crescimento do teor incorporado de papel reciclado na mistura. O acréscimo de absorção não afetou a porosidade do concreto de maneira significativa, enquanto a perda de trabalhabilidade pode ser benéfica para concretos aplicados em artefatos pré-moldados. O teor de 20% é adotado como teor ótimo de adição de papel reciclado em relação ao volume de cimento, pois promove maior incorporação do resíduo na mistura e apresenta respostas mecânicas e físicas positivas.

Para futuros estudos recomenda-se avaliar um intervalo mais amplo de adição de papel reciclado, considerando 0% até 50%, visando maior incorporação

do resíduo no concreto. A fabricação de peças pré-moldadas utilizando o traço, a proporção de papel reciclado e o método de reciclagem desta pesquisa também é recomendada para avaliar respostas mecânicas e físicas conforme a normatização vigente para blocos de concreto.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção água por imersão – Índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2005.

AKINWUMI, I.; OLATUNBOSUN, O.; OLOFINNADE, O.; AWOYERA, P. Structural evaluation of lightweight concrete produced using waste newspaper and office paper. **Civil and Environmental Research**. v. 6, n. 7, p. 160-167, 2014. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/264335085>> ISSN: 2225-0514. Acesso em: 08 de maio 2020.

BALAGA, H.; NANTHAGOPALAN, P. Studies on strength and weight loss of paper concrete. **Engineering Sustainability**. v. 169, n.1, p. 39-44, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1680/ensu.14.00057>>. doi: 10.1680/ensu.14.00057

CARDOSO, M; CANTÃO, L.; MANCINI, S.; PITONDO, L. **Materiais recicláveis**. 1 ed. Sorocaba: Unesp Campus Sorocaba. 2013.

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos -**Centro Tecnológico em Celulose e Papel**: Proposta de criação. Brasília, DF: 2016. 116p.

EQ JÚNIOR. **Impactos ambientais na indústria de papel e celulose**. Disponível em: <<https://eqjunior.com.br/blog/impactos-ambientais-na-industria-de-papel-e-celulose/>> . Acesso em: 08 de maio de 2020.

FONSECA, A. Reciclagem: o primeiro passo para a preservação ambiental. **Semana Acadêmica – Revista Científica**. v. 01, p. 1-30, 2013. Disponível em:<<https://semanaacademica.org.br/artigo/reciclagem-o-primeiro-passo-para-preservacao-ambiental>> ISSN: 2236-6717. Acesso em: 08 de maio 2020.

HELENE, P; ANDRADE, T. Concreto de Cimento Portland. *In*: ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: Ibracon, p. 906-944. 2010.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Anual – Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores**. Brasília, 2017. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf> Acesso em: 31 de março 2019

MEHTA, P.; MONTEIRO, P. **Concrete: Microstructure, Properties and Materials**. 4 ed. Mc Graw Hill. 2014.

MONTEIRO, P.; MILLER, S.; HORVATH, A. Towards sustainable concrete. **Nature Materials**. v. 16, p. 698-699, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/nmat4930>>doi: 10.1038/nmat4930

SOARES, M.; AGUIAR, E.; GOMES, G. O uso do papel reciclado como aditivo em misturas de concreto para blocos de baixa resistência. *In*: ALMEIDA, Z. S. **Práticas Sustentáveis no processo de ambientalização da Universidade Estadual do Maranhão**, São Luís: EDUEMA, v.1, p. 291-310. 2016.

WANG, Z.; LI, H.; JIANG, Z.; CHEN, Q. Effect of waste paper fiber on properties of cement-based mortar and relative mechanism. **Journal of Wuhan University of Technology**. v. 33, n. 2, p. 419-426, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11595-018-1839-2>>. doi: 10.1007/s11595-018-1839-2