

POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGROENERGÉTICOS NA PRODUÇÃO DE CONCRETO

Karla Cristina Bentes Moreira (UFT) E-mail: kaarlamoreira@gmail.com

Renato Baiocchi Alves Veronese (UFT) E-mail: renatobaiocchi@gmail.com

Shara Carvalho Lopes (UFT) E-mail: shara_cl@hotmail.com

Murilo Elias Rosa do Carmo (UFT) E-mail: muriloerc08@uft.edu.br

Juan Carlos Valdés Serra (UFT) E-mail: juancs@uft.edu.br

Resumo: Neste trabalho foi proposta a avaliação do reaproveitamento de resíduos agroenergéticos na produção de concreto, sendo estudadas as adições minerais e substituições de agregado graúdo. A metodologia consistiu em reunir dados e analisá-los, a fim de verificar a viabilidade técnica da utilização dos resíduos. Os materiais escolhidos foram as cinzas de combustível de óleo de palma, casca de arroz e bagaço de cana para substituição parcial do cimento Portland, e cascas de coco e de palma, para substituição parcial do agregado graúdo. A primeira parte do trabalho consistiu na avaliação das características físicas e químicas dos materiais em estudo e, em seguida, foram analisados os resultados dos ensaios de resistência à compressão nos traços de concreto, a fim de verificar a influência dos resíduos no concreto. Os estudos mostraram que a substituição de 10% de cimento Portland pelas cinzas de combustível de óleo de palma e casca de arroz apresentou melhores valores de resistência à compressão.

Palavras-chave: Agroenergia, concreto, resíduos, agregado, adição mineral.

POTENTIAL USE OF AGROENERGETIC WASTE IN CONCRETE PRODUCTION

Abstract: In this work, it was proposed the evaluation of reuse of agroenergy wastes in concrete production, being studied the mineral additions and coarse aggregate substitutions. The methodology consisted in collect and analyze data to verify the technical feasibility of use of waste. The materials selected were palm oil fuel ash, rice husk ash and sugarcane bagasse ash for partial replacement of Portland cement, and coconut and palm bark for partial replacement of the aggregate. The first part of the work consisted in the evaluation of physical and chemical characteristics of the materials, and then the results of the compressive strength tests in concrete traces were analyzed in order to verify the influence of the residues on concrete. The studies showed that the substitution of 10% of Portland cement by the palm oil fuel ash and rice husk ash presented better values of compressive strength.

Keywords: Agroenergy, concrete, waste, aggregate, mineral addition.

1. Introdução

O concreto é o material de construção mais importante do mundo, com mais de 10 bilhões de toneladas de concreto produzido anualmente (MEYER, 2009). Foi previsto que a população mundial aumentará dos atuais 6 a 9 bilhões pelo ano de 2050 e para 11 bilhões até o final do século, que resultará em um aumento considerável na demanda por recursos renováveis, água, energia, alimentos, fontes fluviais, bens e serviços comuns (ROSKOVIĆ; BJEGOVIĆ, 2005). Também a demanda por concreto deve crescer para aproximadamente 18 bilhões toneladas por ano até 2050 (MEHTA; MONTEIRO, 2006). Consequentemente, a indústria vai usar uma quantidade considerável de recursos naturais para produzir cimento e concreto.

A fabricação de cimento Portland consome muita energia e resulta em uma liberação de dióxido de carbono; estimou-se que a produção de cimento é responsável por aproximadamente 5% das emissões globais de dióxido de carbono (CO₂), valor médio global de 222 kg de carbono emitido por tonelada de cimento Portland produzido (CAI *et al.*, 2016; SUPINO *et al.*, 2016).

Além disso, o consumo de agregado natural em grande quantidade para produção e resíduos de demolição de concreto produzem impactos ambientais negativos às necessidades do desenvolvimento sustentável (S, 2017). Ramezaniapour *et al.* (2009) demonstraram que o estado atual da indústria do concreto não é sustentável.

Simultaneamente, o acúmulo de resíduos sólidos industriais ou agrícolas não gerenciados, especialmente em países em desenvolvimento, resultou em um aumento da preocupação ambiental. A reciclagem de resíduos agroenergéticos como material de construção sustentável parece ser uma solução viável não apenas para o problema da poluição, mas também uma opção econômica para projeto de edifícios verdes (RAUT *et al.*, 2011).

Para mitigar ou reduzir o impacto ambiental negativo da indústria de concreto e promover a sustentabilidade ambiental da indústria, o uso de resíduos da indústria e agrícolas como materiais para fabricação de concreto é considerada uma solução alternativa para evitar o uso excessivo de materiais. A ampla disponibilidade de resíduos agroenergéticos torna-os uma alternativa adequada e confiável para agregado em concreto e/ou como um substituto de cimento Portland (APRIANTI *et al.*, 2015; SHAFIGH *et al.*, 2014).

Com isso, existem duas principais maneiras de utilizar resíduos agroenergéticos no concreto: adição de cinzas provenientes da queima de biomassa e/ou biocombustível (óleo de palma (SATA *et al.*, 2010), casca de arroz (RAMEZANIANPOUR *et al.*, 2009; RANJBAR *et al.*, 2016), bagaço da cana de açúcar (KHANKHAJE *et al.*, 2018; ISLAM *et al.*, 2016; SOARES *et al.*, 2015; RAMASAMY, 2011), etc.) das usinas termoelétricas; e, substituição dos agregados grão e miúdo, geralmente, pelas cascas de coco e palma, que são utilizadas na produção de biocombustível (ARENAS-PIEDRAHITA *et al.*, 2016; PATEL; RAIJIWALA, 2015; NÚÑEZ-JAQUEZ *et al.*, 2012; GAR *et al.*, 2017).

O óleo de palma é utilizado como biocombustível em usinas termoelétricas, assim como a casca de arroz e o bagaço da cana de açúcar. O subproduto da geração de energia são cinzas que possuem características físicas e químicas capazes de apresentar atividade pozolânica, podendo ser utilizadas como substituto parcial ao cimento na mistura de concreto convencional. A adição de pozolana no concreto gera maior resistência mecânica aos 28 dias, reduzindo o calor de hidratação, evitando, assim, fissuras por retração térmica (MEHTA; MONTEIRO, 2006).

Como já dito anteriormente, óleo de palma é utilizado como biocombustível, assim como o óleo de coco. Na produção dos combustíveis, as cascas são descartadas, sendo de grande utilização no concreto quando se trata da substituição de agregado. A opção pelo uso dessas cascas gera a redução da massa específica do concreto, mantendo a mesma resistência mecânica aos 28 dias, e ainda melhorando a trabalhabilidade do mesmo (GAR *et al.*, 2017).

2. Materiais e métodos

A metodologia consistiu em encontrar artigos de pesquisa em bases de dados apoiadas pela comunidade científica, ordenadas, integradas e priorizadas, criando uma síntese de matriz, que condensou os objetivos, tipo de material, analisou propriedades e principais resultados encontrados (NÚÑEZ-JAQUEZ *et al.*, 2012).

O concreto consiste em um material compósito, sua composição básica apresenta uma matriz cimentícia, formada por cimento e água, que envolve os agregados graúdos e miúdos (PRUSTY *et al.*, 2016). A fim de facilitar a análise, os resíduos foram classificados conforme a finalidade: adição mineral em substituição ao cimento e/ou substituição de agregado graúdo, e no final foi realizada uma comparação entre o concreto convencional e o concreto com resíduos agroenergéticos, a fim de verificar a viabilidade técnica da utilização desses resíduos.

2.1. Adição mineral no concreto

As adições minerais são empregadas como substituto parcial do cimento Portland, no concreto, por questões econômicas e de durabilidade (DÍAZ-FUENTES, 2013). As adições minerais devem cumprir os requisitos para materiais pozolânicos destinados ao uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta, conforme NBR 12653 (ABNT, 2014). Para a presente pesquisa, foram escolhidas as cinzas do óleo de palma, da casca de arroz e do bagaço da cana como materiais pozolânicos, para análise das características físicas e químicas e da influência no concreto no estado endurecido.

2.2. Substituição dos agregados graúdos

Para ser utilizado como agregado, o resíduo deve seguir o parâmetro estabelecido pela NBR 12655: “material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa ou concreto” (ABNT, 2015). Caso as partículas de agregado sejam maiores do que 4,75mm, o agregado é classificado graúdo; caso contrário, o agregado é miúdo. Para a presente pesquisa, foram escolhidas as cascas de coco e de palma como substitutos dos agregados graúdos, para análise das características físicas e da influência no concreto no estado endurecido.

3. Resultados e discussões

Os resultados expostos e discutidos foram analisados a partir dos artigos citados anteriormente a fim de sintetizar e organizar os dados, possibilitando uma comparação dos objetos de estudo e linhas de pesquisas desenvolvidas sobre o tema.

3.1. Caracterização das cinzas

As características físicas das cinzas de combustível de óleo de palma, casca de arroz e bagaço de cana, segundo as pesquisas dos autores estudados, foram relacionadas na Tabela 1, expondo os valores de massa específica e módulo de finura das cinzas.

Tabela 1 – Valores de massa específica e módulo de finura das cinzas de combustível de óleo de palma, casca de arroz e bagaço de cana.

Características físicas	Cinzas					
	Combustível de Óleo de Palma		Casca de Arroz		Bagaço da Cana	
Massa específica (g/cm ³)	1,81	2,10	2,06	2,15	2,10	2,08
Módulo de Finura (%)	4,0	1,2	4,0	2,2	2,78	2,3
Referências bibliográficas	Ranjbar et al. (2016)	Islam et al. (2016)	Ramasamy (2011)	Ramezaniyanpour et al. (2009)	Arenas-Piedrahita et al. (2016)	Gar et al. (2017)

A massa específica do cimento Portland é em torno 3 g/cm³, portanto é possível observar na Tabela 1 que os três tipos de cinzas possuem massa específica inferior à do cimento, tendo

aparentemente uma estrutura mais porosa que o cimento Portland, podendo caracterizar numa perda de trabalhabilidade na mistura de concreto.

Quanto ao módulo de finura das cinzas é notório, através da Tabela 1, que os três tipos possuem percentual inferior a 12%, conforme a NBR 11579 (ABNT, 2012), tendo em vista que o objetivo da pesquisa é utilizar as cinzas como substitutas parciais para o cimento Portland em concreto.

A composição química das cinzas é apresentada na Tabela 2 por meio dos percentuais de diferentes óxidos, obtidos através do ensaio de fluorescência por raio X pelos autores referenciados.

Tabela 2 – Caracterização química das cinzas de combustível de óleo de palma, casca de arroz e bagaço de cana.

Óxido (%)	Cinzas					
	Combustível de Óleo de Palma		Casca de Arroz		Bagaço da Cana	
SiO ₂	64,17	43,60	87,20	93,18	66,12	69,94
CaO	5,80	8,40	0,55	0,48	2,57	2,27
Al ₂ O ₃	3,73	8,50	0,15	0,1	14,99	3,34
Fe ₂ O ₃	6,33	10,10	0,16	0,1	7,16	1,25
MgO	4,87	4,80	0,35	-	1,19	6,68
SO ₃	0,72	2,80	0,24	-	0,26	0,42
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	74,23	62,20	87,51	93,38	88,27	74,53
Referências bibliográficas	Ranjbar et al. (2016) [13]	Khankhaje et al. (2018) [14]	Ramasamy (2011) [17]	Soares et al. (2015) [16]	Arenas-Piedrahita et al. (2016) [18]	Gar, Suresh e Bindiganavile (2017) [21]

A NBR 12653:2014 [27] prevê que a somatória dos óxidos silicato, aluminato e férrico (SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃) devem ser maior ou igual a 70% dos óxidos presentes. Todavia, é possível ver na Tabela 2 que apenas a amostra de cinza de combustível de óleo de palmas do autor Khankhaje *et al.* (2018) não atende a esse requisito, estando os demais em conformidade com a normativa brasileira. Em compensação, as amostras de cinza de casca de arroz apresentam elevados valores SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃.

3.2. Caracterização das cascas

Na Tabela 3 estão dispostos os valores apresentados pelos autores de massa específica, absorção de água e abrasão pelo método Los Angeles, relacionados às cascas de palma e coco.

É possível observar que tanto as cascas da palma quanto as do coco apresentaram valores de massa específica inferiores aos valores dos agregados usuais (em torno de 2,6 g/cm³), o que pode gerar redução no peso próprio do concreto. Também foi observada uma redução na abrasão dos materiais, sendo que a perda de massa durante o ensaio Los Angeles, para a casca de coco, foi quase nula. Isso indica que os materiais podem gerar aumento da resistência à compressão do concreto, em comparação aos agregados usuais, que apresentam perda de massa por abrasão em torno de 50-55%.

Tabela 3 – Caracterização física das cascas de combustível de óleo de palma e de coco.

Características físicas	Cascas			
	Palma		Coco	
Massa específica (g/cm ³)	1,17-1,37	1,028-2,29	1,05-1,20	1,05-2,33
Abrasão Los Angeles (%)	3-5	4,8-4,9	1,63	1,65

Referências bibliográficas	Shafigh et al. (2014)	Prusty e Patro (2015)	Shafigh et al. (2014)	Prusty e Patro (2015)
----------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

3.3. Influência das cinzas no concreto endurecido

A seguir, são apresentados na Tabela 4 os valores de resistência à compressão com idade de 28 dias dos diferentes concretos obtidos com a substituição de cimento por cinzas agroenergéticas, e na Figura 1 são apresentados os comparativos com esses valores em função do percentual de substituição das mesmas.

Tabela 4 – Resistência à compressão do concreto com substituição de cimento Portland por cinzas aos 28 dias.

Teor (%)	Resistência à compressão do concreto com cinzas aos 28 dias (MPa)					
	Combustível de Óleo de Palma		Casca de Arroz		Bagaço da Cana	
0	67	14,20	47,00	40,3	41,00	32,40
10	69,1	12,80	50,00	44,8	40,50	32,50
15	62,5	11,90	41,00	46,9	40,70	29,00
20	60,9	11,50	32,00	45,2	40,00	27,60
Autores	Ranjbar et al. (2016)	Khankhaje et al. (2018)	Ramasamy (2011)	Ramezaniapour et al. (2009)	Arenas-Piedrahita et al. (2016)	Patel e Raijiwala (2015)

Na Figura 1 é possível observar graficamente o aumento ou redução da resistência à compressão à medida que altera o percentual de cada tipo de cinza, separadamente, no concreto, em conformidade com a Tabela 4 que explicita os valores de resistência.

O concreto com cinza de combustível de óleo de palma obteve um melhor resultado com teor de substituição de 10%, segundo o autor Ranjbar *et al.* (2016). Todavia os demais percentuais (15% e 20%) apresentaram resultado inferior ao concreto referência (0%). Enquanto o estudo realizado por Khankhaje *et al.* (2018) indicou uma redução de resistência dos três percentuais de substituição em comparação ao traço referência.

Quanto ao concreto com cinza de casca de arroz, observou-se melhor resultado com teor de substituição de 10%, segundo o autor Ramasamy (2011). Entretanto, os percentuais de 15% e 20% resultado inferior ao concreto referência. Ramezaniapour *et al.* (2009) obteve resistência superior ao concreto de referência nos três percentuais de substituição estudados (10%, 15% e 20%), sendo que a maior resistência foi alcançada pelo concreto com 15%, 46,9 MPa aos 28 dias.

Segundo a pesquisa de Arenas-Piedrahita *et al.* (2016), a resistência foi levemente reduzida com a utilização de cinza de bagaço de cana em relação ao concreto com 0%. Já Patel e Raijiwala (2015) apresentaram uma leve melhora no concreto com 10% (32,5 MPa) comparado com concreto sem substituição (32,4 MPa), e os demais percentuais obtiveram resistência menor que 32,4 MPa.

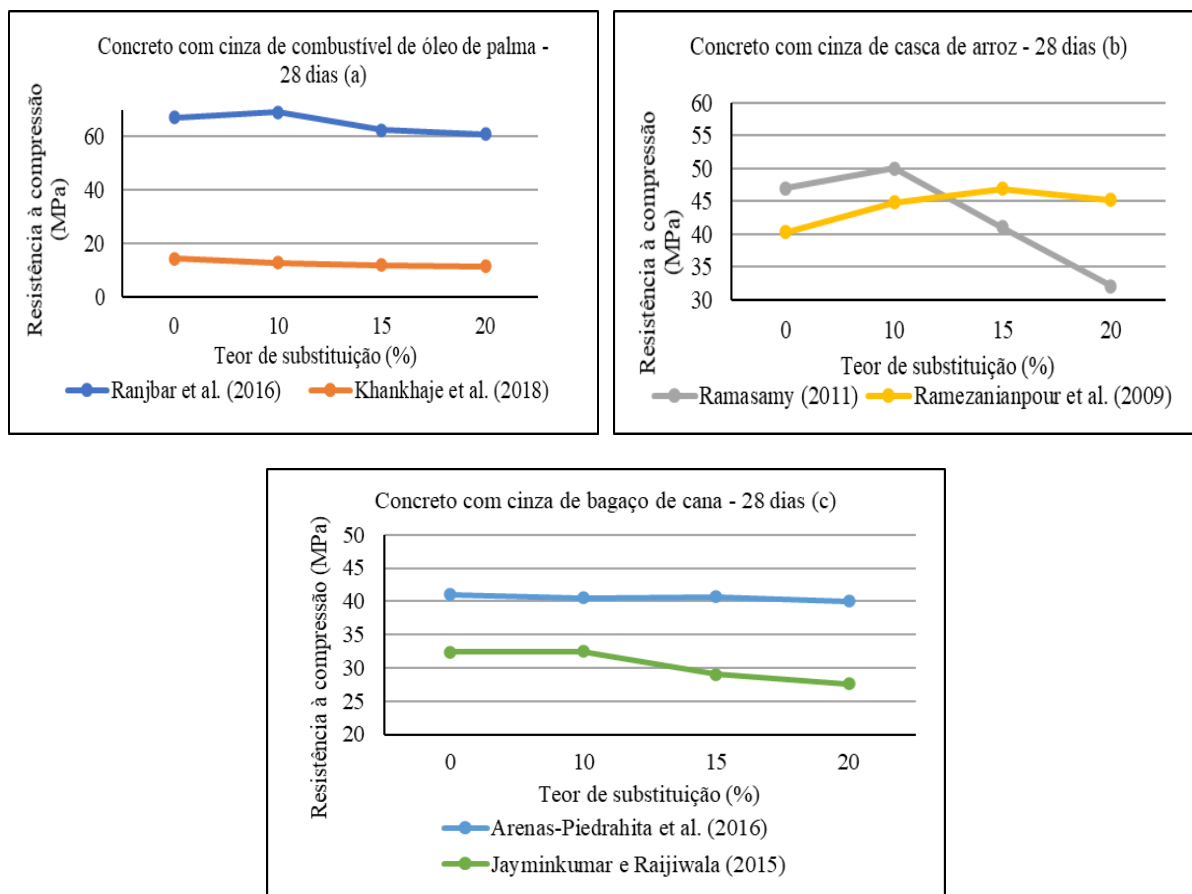


Figura 1 – Relação entre a resistência à compressão e o teor de substituição de cinza de combustível de óleo de palma (a), de casca de arroz (b) e de bagaço de cana (c) no concreto endurecido aos 28 dias.

É possível perceber que a maioria das amostras de cinzas apresentaram leve aumento em sua resistência até o teor de 10% de substituição, sendo reduzida com os teores acima desse valor, implicando que o excesso de cinza pode prejudicar o concreto por não conseguir reagir todo o SiO₂ presente, enfraquecendo a mistura.

3.4. Influência das cascas no concreto endurecido

Na Tabela 5 estão dispostos os valores apresentados pelos autores de resistência à compressão dos concretos com substituição (parcial e total) de agregado graúdo por cascas de palma e de coco, aos 28 dias de cura.

Tabela 5 – Resistência à compressão do concreto com substituição de agregados por cascas aos 28 dias.

Teor (%)	Resistência à compressão do concreto com cascas aos 28 dias (MPa)			
	Casca de palma		Casca de coco	
0	35,0	35,0	35,0	35,0
25	26,0	24,0	26,4	28,0
50	18,0	20,0	19,7	21,5
75	17,6	18,7	19,2	19,0
100	17,0	15,0	17,3	16,0
Autores	Shafigh et al. (2014)	Prusty e Patro (2015)	Shafigh et al. (2014)	Prusty e Patro (2015)

Na Figura 2 é possível observar, a redução da resistência à compressão à medida que aumenta-se o percentual de substituição de casca de palma e casca de coco, separadamente, no concreto, em conformidade com a Tabela 5 que explicita os valores de resistência à compressão.

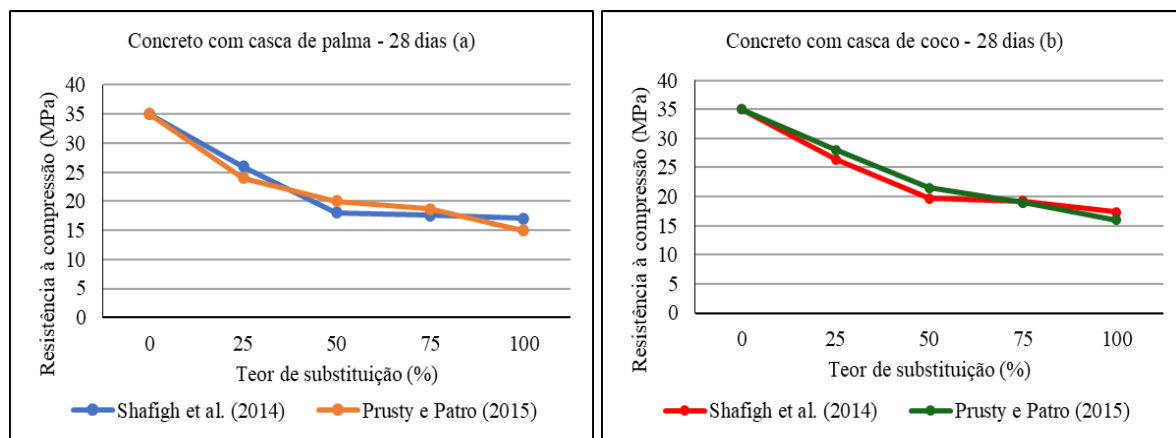


Figura 2 – Relação entre a resistência à compressão e o teor de substituição de casca de palma (a) e casca de coco (b) no concreto endurecido aos 28 dias.

As pesquisas realizadas por Shafigh *et al.* (2014) e Prusty e Patro (2015) indicaram uma redução de resistência em todos os percentuais de substituição de agregado por casca de palma em comparação ao traço referência (0%). O mesmo acontece nos ensaios desses autores quanto a substituição de agregado por casca de coco. Esses resultados se dão pelo fato de o agregado graúdo convencional, principalmente a brita, possuir maior resistência mecânica do que as cascas. Todavia, com a substituição por cascas é possível dosar concretos leves, com menor massa específica e conseqüentemente, construir estruturas com menores solicitações de peso próprio.

4. Conclusões

O concreto com substituição de cimento Portland por cinza de combustível de óleo de palma e cinza de casca de arroz com teor de 10% apresenta maior resistência à compressão que o concreto sem substituição, sendo que acima desse valor não é aconselhado por alterar negativamente a resistência do concreto. A substituição de cimento por cinza do bagaço da cana apresentou menores resistências nos diferentes percentuais estudados.

A substituição de agregado graúdo por casca de palma e casca de coco em concreto só é indicada para situações que necessitem de um concreto leve e com resistência moderada ou não estrutural.

Referências

APRIANTI, E. *et al.* *Supplementary cementitious materials origin from agricultural wastes – A review.* Construction And Building Materials, [s.l.], v. 74, p.176-187, jan. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.10.010>.

ARENAS-PIEDRAHITA, J. C. *et al.* *Mechanical and durability properties of mortars prepared with untreated sugarcane bagasse ash and untreated fly ash.* Construction And Building Materials, [s.l.], v. 105, p.69-81, fev. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.047>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 11579: Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)*. Rio de Janeiro, 2012.

_____. *NBR 12653: Materiais pozolânicos – Requisitos*. Rio de Janeiro, 2014.

_____. *NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento*. Rio de Janeiro, 2015.

- CAI, B. et al.** *Evaluating CO₂ emission performance in China's cement industry: An enterprise perspective.* Applied Energy, [s.l.], v. 166, p.191-200, mar. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.11.006>.
- DÍAZ-FUENTES, C. X.** *Preparation and characterization of masonry units, lightweight concrete based and agro-industrial wastes: a review.* Journal Of Physics: Conference Series, [s.l.], v. 466, p.1-3, 7 nov. 2013. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/466/1/012037>.
- GAR, P. S.; SURESH, N.; BINDIGANAVILE, V.** *Sugar cane bagasse ash as a pozzolanic admixture in concrete for resistance to sustained elevated temperatures.* Construction And Building Materials, [s.l.], v. 153, p.929-936, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.107>.
- ISLAM, M. M. U. et al.** *Mechanical and fresh properties of sustainable oil palm shell lightweight concrete incorporating palm oil fuel ash.* Journal Of Cleaner Production, [s.l.], v. 115, p.307-314, mar. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.051>.
- KHANKHAJE, E. et al.** *Sustainable clean pervious concrete pavement production incorporating palm oil fuel ash as cement replacement.* Journal Of Cleaner Production, [s.l.], v. 172, p.1476-1485, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.159>.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.** *Concrete: microstructure, properties, and materials.* 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2006.
- MEYER, C.** *The greening of the concrete industry.* Cement And Concrete Composites, [s.l.], v. 31, n. 8, p.601-605, set. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.12.010>.
- NÚÑEZ-JAQUEZ, R. E. et al.** *Corrosion of Modified Concrete with Sugar Cane Bagasse Ash.* International Journal Of Corrosion, [s.l.], v. 2012, p.1-5, 2012. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2012/451864>.
- PATEL, J. A.; RAIJIWALA, D. B.** *Experimental study on compressive strength of concrete by partially replacement of cement with sugar cane bagasse ash.* International Journal of Engineering Research and Applications, [s.l.], v. 5, n. 4, p. 117-120, abr. 2015.
- PRUSTY, J. K.; PATRO, S. K.** *Properties of fresh and hardened concrete using agro-waste as partial replacement of coarse aggregate – A review.* Construction And Building Materials, [s.l.], v. 82, p.101-113, maio 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.063>.
- PRUSTY, J. K.; PATRO, S. K.; BASARKAR, S. S.** *Concrete using agro-waste as fine aggregate for sustainable built environment – A review.* International Journal Of Sustainable Built Environment, [s.l.], v. 5, n. 2, p.312-333, dez. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijsbe.2016.06.003>.
- RAMASAMY, V.** *Compressive strength and durability properties of Rice Husk Ash concrete.* KSCE Journal Of Civil Engineering, [s.l.], v. 16, n. 1, p.93-102, 31 dez. 2011. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12205-012-0779-2>.
- RAMEZANIANPOUR, A. A.; MANDI KHANI, M.; AHMADIBENI, G. H.** *The effect of rice husk ash on mechanical properties and durability of sustainable concretes.* International Journal of Civil Engineering, [s.l.], v. 7, n. 2, p. 83-91, jun. 2009.
- RANJBAR, N. et al.** *Durability and mechanical properties of self-compacting concrete incorporating palm oil fuel ash.* Journal Of Cleaner Production, [s.l.], v. 112, p.723-730, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.033>.
- RAUT, S. P.; RALEGAONKAR, R. V.; MANDAVGANE, S. A.** *Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks.* Construction And Building Materials, [s.l.], v. 25, n. 10, p.4037-4042, out. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.038>.
- ROSKOVIĆ, R.; BJEGOVIĆ, D.** *Role of mineral additions in reducing CO₂ emission.* Cement And Concrete Research, [s.l.], v. 35, n. 5, p.974-978, maio 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.04.028>.
- S, E. A.** *A huge number of artificial waste material can be supplementary cementitious material (SCM) for concrete production – a review part II.* Journal Of Cleaner Production, [s.l.], v. 142, p.4178-4194, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.115>.
- SATA, V.; JATURAPITAKKUL, C.; RATTANASHOTINUNT, C.** *Compressive Strength and Heat Evolution of Concretes Containing Palm Oil Fuel Ash.* Journal Of Materials In Civil Engineering, [s.l.], v. 22, n.

10, p.1033-1038, out. 2010. American Society of Civil Engineers (ASCE).
[http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0000104](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000104).

SHAFIGH, P. et al. *Agricultural wastes as aggregate in concrete mixtures – A review*. Construction And Building Materials, [s.l.], v. 53, p.110-117, fev. 2014. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.074>.

SOARES, L. W. O. et al. *The effect of rice husk ash as pozzolan in addition to cement Portland class G for oil well cementing*. Journal Of Petroleum Science And Engineering, [s.l.], v. 131, p.80-85, jul. 2015. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.petrol.2015.04.009>.

SUPINO, S. et al. *Sustainability in the EU cement industry: the Italian and German experiences*. Journal Of Cleaner Production, [s.l.], v. 112, p.430-442, jan. 2016. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.022>.