

Concreto sustentável: o uso de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar na produção de concreto

Sustainable concrete: The use of sugarcane bagasse ash (SBC) in the production of concrete

Lucas Ferreira Freitas, Mestre, Centro Universitário de Caratinga.

Lucasfreitas2k@hotmail.com

Heberon Teixeira da Silva, Mestre, Universidade Federal de Alfenas.

heberon.silva@sou.unifal-mg.edu.br

Fernanda Andrade Dutra, Bacharelado, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

fernanda-dutraa@hotmail.com

Leandro Teixeira da Silva, Bacharelado, Universidade Estadual Paulista.

lean.mg.0002@gmail.com

Arlon Teixeira da Silva, Bacharelado, Instituto Federal do Norte de Minas Gerais.

arlonetrl@gmail.com

Tales Alexandre Aversi-Ferreira, Doutor, Universidade Federal de Alfenas.

tales.ferreira@unifal-mg.edu.br

Número da sessão temática da submissão – [4]

Resumo

O concreto é um dos materiais da construção mais utilizados no mundo, tendo o cimento um dos seus principais ingredientes. A incorporação da Cinza do Bagaço da Cana-de-açúcar (CBC) na produção do concreto pode apresentar soluções para o aproveitamento do subproduto agroindustrial e minimizar impactos ambientais advindos da retirada de calcário na produção do cimento, além de contribuir para redução da emissão de gás carbônico e preservar jazidas naturais produção do cimento. Este estudo teve como objetivo utilizar a CBC na adição e substituição parcial do cimento na produção de concreto. Os corpos de prova (TBs) foram fabricados seguindo as NBRs 7223 e 5738, em que se adotou uma relação: (1:1,98:3,23:0,61) como proposta primária(T1) e foram realizadas a substituição (T2) e adição(T3) em massa de 5% do cimento Portland. Os rompimentos dos corpos de prova foram efetuados

pelo ensaio de resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto aos 7, 14, 21 e 28 dias de idade, após a retificação. Os resultados obtidos demonstram ser viável o uso de CBC, desde que a relação água/cimento e a porcentagem em massa a ser substituída ou adicionadas sejam adequadas, pois tanto na adição, quanto a substituição de 5% de cimento por CBA, obteve-se um ganho de resistência do concreto.

Palavras-chaves: Cinza; bagaço de cana-de-açúcar; construção civil; concreto; resistência à compressão

Abstract

Concrete is one of the most used construction materials in the world, with cement being one of its main ingredients. The incorporation of Sugarcane Bagasse Ash (SBC) in the production of concrete can present solutions for the use of this agro-industrial by-product and minimize environmental impacts arising from the removal of limestone in the production of cement, in addition to contributing to the reduction of emission of carbon dioxide and preserve natural deposits for cement production. This study aimed to use sugarcane bagasse ash in the addition and partial replacement of cement in the production of concrete. The specimens (TBs) were manufactured following the NBRs 7223 and 5738, in which a ratio was adopted: (1:1.98:3.23:0.61) as primary proposal (T1), and the replacement (T2) and addition (T3) of 5% of Portland cement by mass was performed. The ruptures of the specimens were performed by the compressive strength test of concrete cylindrical specimens at 7, 14, 21 and 28 days of age, after rectification. The results obtained show that it is feasible to use SBA, since the water/cement ratio and the percentage of mass to be replaced or added are appropriate, because both in the addition and the replacement of 5% cement by SBA obtained a gain in strength of concrete.

Keywords: Gray; sugar cane bagasse; construction; concrete; compressive strength

1. Introdução

Os insumos utilizados na indústria da construção são classificados como matérias-primas com elevadas quantidades de carbono incorporado, isto é, liberam grandes volumes de gases de efeito estufa na atmosfera no processo de produção (TRAN *et al.*, 2018). Atrelado a isso, tem-se o avanço das tecnologias, o crescimento e o desenvolvimento da população mundial, que contribuem para o aumento na demanda de processos construtivos, a escassez dos recursos naturais e a necessidade de grandes quantidades de energia para a extração e processamento de matérias-primas (MOURA *et al.*, 2021). Tais fatores geram preocupações ambientais e econômicas, já que influenciam nas mudanças climáticas e no aumento do custo dos materiais de construção, exigindo que se busque materiais alternativos e técnicas de construção sustentáveis para essa indústria (DANSO *et al.*, 2015).

Os compósitos à base de cimento são os materiais mais utilizados em estruturas de engenharia civil (AMIRI *et al.*, 2021; IBRAHIM, 2021), o que se deve a vários fatores, como a facilidade de aquisição, a resistência à água, a resistência térmica e a adaptabilidade a uma variedade de tamanhos e formas (KHAN *et al.*, 2022; MANJUNATHA *et al.*, 2021). No entanto, a fabricação de cimento contribui, de forma significativa, para a emissão de gases do efeito

estufa (BAYASI; ZHOU, 1993), com valores estimados de cerca de 1.350 milhões de toneladas de gases por ano, principalmente o dióxido de carbono (CO₂) (AHMAD *et al.*, 2021).

Uma das formas de diminuir os impactos ambientais advindos da utilização do cimento é realizar a substituição parcial por materiais cimentícios alternativos, como as cinzas produzidas pela indústria sucroalcooleira, que pode produzir, aproximadamente, 25 kg de resíduo para cada tonelada de bagaço queimado (CHANDRA *et al.*, 2019). Este material, além de possuir características sustentáveis, é rico em sílica (SiO₂), com valores geralmente em massa acima de 60% e, dependendo da sua atividade pozolânica, pode melhorar a resistência e a durabilidade do concreto (SAMPAIO *et al.*, 2014; SRIVASTAVA *et al.*, 2015).

O teor de sílica amorfa e alumina presente no resíduo de cinzas o torna um excelente substituto do cimento no concreto (INBASEKAR *et al.*, 2016). Assim, quando as condições de queima são controladas a uma temperatura entre 600 ° C a 800 ° C, é possível obter a SiO₂ em seu estado amorfo, característica essencial para seu uso como material pozolânico (KANTIRANIS, 2004). A quantidade de SiO₂ nas cinzas muda conforme uma variedade de fatores, incluindo o método de queima e temperatura, o tipo de solo usado para cultivar a cana-de-açúcar e as propriedades da matéria-prima (KUMARI; KUMAR, 2015).

Devido à necessidade da destinação correta deste resíduo e para minimizar os impactos ambientais advindos da destinação incorreta da CBC e da produção do cimento, este estudo teve como objetivo analisar os efeitos da adição e substituição de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar na resistência à compressão do concreto.

2. Procedimentos Metodológicos

O estudo caracteriza-se como uma pesquisa experimental, pois algumas variáveis relacionadas ao objeto de estudo foram manipuladas a fim de encontrar o melhor resultado para a resistência do concreto (FONSECA, 2002; SILVEIRA; CÓRDOVA, 2009). Dessa forma, foi realizada uma revisão de literatura para definir a dosagem das misturas de concreto, já que, conforme Silva *et al.* (2021), esta definição constitui um procedimento necessário para obter a melhor mistura entre os materiais que fazem parte do concreto.

A proporção ideal de materiais que compõem os traços foi expressa em massa seca de materiais na seguinte ordem: cimento/areia/brita/água. Através de estudos para fabricação de concreto massa convencional, com resistência de 20 MPa (kgf/cm²), aos 28 dias de cura, chegou-se a uma relação: 1:1,98:3,23:0,61, adotada como proposta primária, que teve como composição base multiplicada para atender à quantidade demandada em todas as condições, com idades de ruptura esperadas de 7, 14, 21 e 28 dias.

O planejamento experimental ocorreu na subdivisão de três traços distintos, a saber, o (T1) foi utilizado como referência e, nos T2 e T3, foram feitas a substituição e adição, respectivamente, do cimento pelo CBC em 5 % de percentagem mássica. Os corpos de prova (TBs) foram fabricados seguindo a NBR 7223, utilizando agregados miúdos e graúdos, cimento Portland (TBIII) e CBC. A CBC foi proveniente da queima do bagaço da cana-de-açúcar para geração de energia elétrica na produção de etanol da Destilaria de Alcool de Serra dos Aimorés (DASA), localizada na BR-418, nº 333, entre os municípios de Nanuque e Serra dos Aimorés

– MG, o cimento utilizado foi da marca de altos-fornos Cauê TB III 40 RS, e os demais itens foram doados pela Concreteira Mix Mattar.

Os constituintes foram pesados em balança digital e a mistura foi feita com auxílio de betoneira. Em seguida, o concreto foi inserido em moldes cilíndricos metálicos com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 mm de altura, sendo dispostos em duas camadas com rebaixamento manual de 12 golpes em cada uma delas utilizando uma haste de compactação, que teve como objetivo reduzir ao máximo sua porosidade e cuidando para que não sofra segregação, conforme as recomendações da norma NBR nº 5738/2016.

A retificação do corpo de prova foi feita conforme a NBR nº 5738, com retífica da marca Stuhler, com a retirada de 0,1 mm da camada externa do material. Assim, a remoção ocorreu em 0,05 mm em cada extremidade (topo e base), possibilitando o controle geométrico e proporcionando ao corpo de prova uma superfície lisa para obter maior precisão nos resultados.

A resistência à compressão simples foi determinada pelas recomendações da NBR nº 5739, onde os TBs foram quebrados, utilizando uma prensa elétrica digital, marca Solocap, com carga máxima de 1000 KN. Em seguida, foi calculada a força de cada TB aos 7, 14, 21 e 28 dias de cura, conforme equação 1.

$$fck (MPa) = \left(\frac{fck (KN)}{9,81} \right) * 100 \text{ Eq.1}$$

Onde:

fck: Resistência característica do concreto.

ACP: Área do corpo de teste.

Na análise estática dos resultados, foi utilizado o *software* Graph Pad Prism, sendo a normalidade dos dados verificada pelo teste de shapiro wilk. Além disso, o teste ANOVA e o múltipla comparação de Tukey foram aplicados para averiguar a correlação estatística entre a resistência dos traços de concreto (T1, T2, T3).

3. Resultados

Para verificar a possibilidade do uso da CBC em substituição ou adição ao cimento Portland, realizou-se o ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova do concreto, contendo substituição de 5% de CBC para o traço T2 e adição 5% de CBC para o T3, conforme apresentado na Tabela 01:

Tabela 01: Resistência média dos corpos de prova de concreto em relação aos dias de cura e Slump Test.

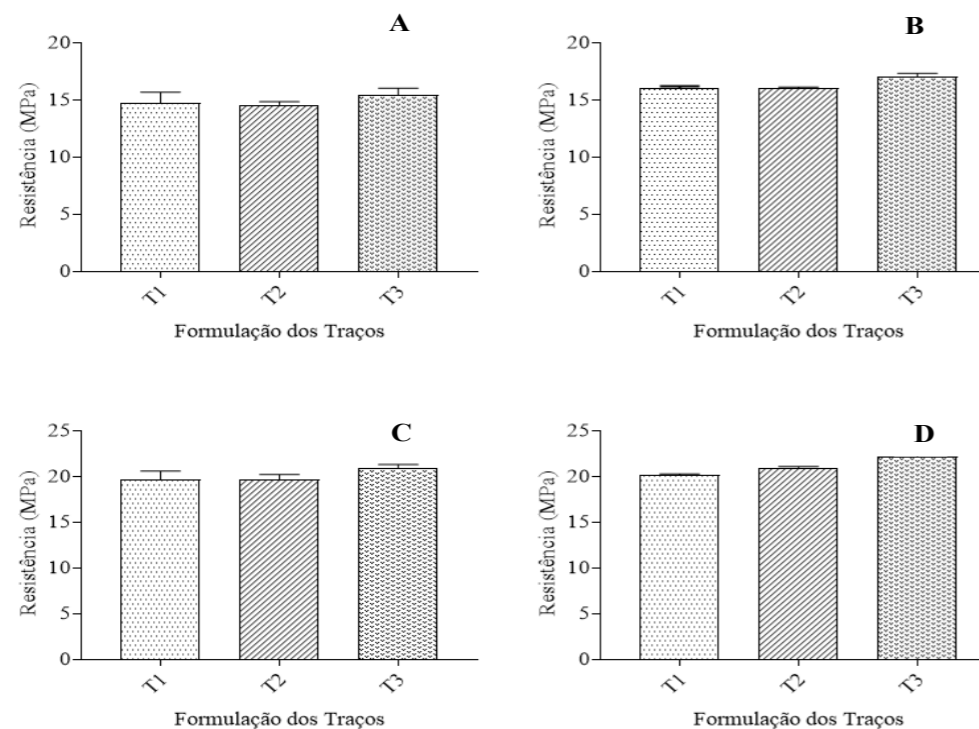
Traço	% de cinza	Resistência média dos corpos de prova (MPa)			
		7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
T1	0	14,78±0,65	16,02±0,14	19,69±0,64	20,24±0,08
T2	5	14,59±0,19	16,05±0,06	20,03±0,35	20,98±0,09
T3	5	15,54 ±0,43	17,02±0,23	20,89±0,30	22,21±0,19

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A análise de variância (ANOVA) aplicada aos dados de resistência à compressão mostrou, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de múltipla comparação de Tukey, que não houve diferença significativa entre a resistência dos 3 traços para o rompimento em 7 e 21 dias, sendo

que, no 14º dia, também não houve diferença em T1 vs. T2. Porém, foi verificado que, aos 14 dias (T1 vs. T3; T2 vs. T3) e aos 28 dias, a resistência à compressão dos corpos de prova possuiu diferença estatística, indicando o aumento da resistência.

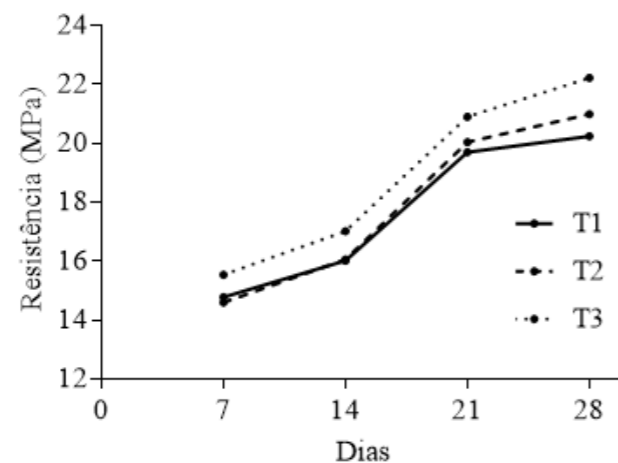
Figura 01: Valores da resistência à compressão dos corpos de prova em 7, 14, 21 e 28 dias



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Na Figura 02, pode ser observada a coerência das curvas de evolução da resistência à compressão dos corpos de prova dos diferentes compósitos estudados, sendo possível verificar o aumento da resistência nas diferentes idades de rompimento para todos os traços estudados.

Figura 02: Representação das curvas de evolução média da resistência à compressão dos corpos de prova.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A análise estatística mostrou um melhor desempenho para os traços com adição e substituição do cimento pela cinza e isso deve-se aos efeitos físicos e químicos na preparação do concreto. Conforme afirma Cordeiro, Filho e Fairbairn (2008) em seu estudo, os efeitos físicos estão relacionados às características de empacotamento da mistura, que dependem do tamanho, forma e textura das partículas de CBC usadas na composição dos traços. Os efeitos químicos estão ligados à presença de compostos siliciosos/aluminosos que reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio na presença de água.

Em relação aos valores de resistência à compressão tanto para o traço em que foi realizada a substituição, como a adição da cinza, verificou-se, através da análise estatística, que houve um aumento quando comparado ao padrão T1. Estes valores podem indicar teores elevados de sílica (SiO₂), presente na composição da cinza, o que contribui para uma melhor atividade pozolânica do material (PAULA *et al.*, 2009). A sílica amorfa reage com o hidróxido de cálcio presente no cimento hidratado e forma silicato de cálcio hidratado, que é responsável pela resistência do concreto (QI; FENG, WANG, 2020).

A substituição de cimento pela cinza proporciona incrementos nos valores de resistência à compressão do concreto convencional, principalmente nas idades mais avançadas, sugerindo reações pozolânicas do material utilizado, conforme descrito no estudo de Cordeiro *et al.* (2021).

O traço T3 em que foi feito apenas a adição de CBC obteve uma melhor resistência à compressão quando comparado ao padrão e ao T2. Nesse sentido, Silva (2007) afirma que a incorporação de adições ao concreto tem como alguns de seus efeitos físicos o efeito microfíler, o refinamento da estrutura de poros e dos produtos de hidratação do cimento e a alteração da microestrutura, o que resulta em melhor desempenho do concreto em termos de resistência mecânica e durabilidade (CASTRO; MARTINS, 2016).

4. Conclusão

O uso de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar como um agregado na produção de concreto tem se mostrado uma forma promissora de aproveitamento desse tipo de resíduo, pois permite destiná-lo de forma correta e, ao mesmo tempo, diminuir impactos ambientais da produção do cimento. Para este estudo, foi possível perceber que, tanto na adição, quanto na substituição de 5% de cimento por CBA, obteve-se um ganho de resistência do concreto, o que pode ser considerado positivo, porque a adição/substituição do resíduo não afetou negativamente o traço, indicando atividade pozolânica da cinza utilizada. Uma das limitações deste estudo foi a falta de caracterização química da CBC e mais ensaios para análise do concreto. Assim, sugere-se que, em trabalhos futuros, seja feita a análise de caracterização do resíduo e do concreto final e novos percentuais de CBC sejam testados.

Referências

AHMAD, W. *et al.* Sustainable approach of using sugarcane bagasse ash in cement-based composites: A systematic review. *Case Studies in Construction Materials*, v. 15, p. e00698, 2021. DOI: 10.1016/j.cscm. 2021.e00698



AMIRI, M.; HATAMI, F.; GOLAFSHANI, E. M. Evaluating the synergic effect of waste rubber powder and recycled concrete aggregate on mechanical properties and durability of concrete. **Case Studies in Construction Materials**, v. 15, p. e00639, 2021. DOI: 10.1016/j.cscm. 2021.e00639.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**: Concreto - Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos, Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7223**: Concreto - determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1996.

BAYASI, Z.; ZHOU, J. Properties of silica fume concrete and mortar. **Materials Journal**, v. 90, n. 4, p. 349-356, 1993.

CASTRO, T. R.; MARTINS, C. H. Avaliação da adição de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar em argamassas mistas. **Ambiente Construído**, v. 16, p. 137-151, 2016. DOI:10.1590/s1678-86212016000300097.

CHANDRA, S. P. *et al.* Agricultural solid waste as source of supplementary cementitious materials in developing countries. **Materials**, v. 12, n. 7, p. 1112, 2019. DOI:10.3390/ma12071112.

CORDEIRO, G. C.; FILHO, D. T.; FAIRBAIRN, E. M.R. Influência da substituição parcial de cimento por cinza ultrafina da casca de arroz com elevado teor de carbono nas propriedades do concreto. **Ambiente Construído**, v. 9, p. 99-107, 2021. DOI: 10.1590/s1678-86212009000400520

CORDEIRO, G. C. *et al.* Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars. **Cement and Concrete composites**, v. 30, n. 5, p. 410-418, 2008. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2008.01.001.

DANSO, H. *et al.* Physical, mechanical and durability properties of soil building blocks reinforced with natural fibres. **Construction and Building Materials**, v. 101, p. 797-809, 2015. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.10.069

FONSECA, J. J. S. **Apostila de metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002.

IBRAHIM, K. I. M. Recycled waste glass powder as a partial replacement of cement in concrete containing silica fume and fly ash. **Case Studies in Construction Materials**, v. 15, p. e00630, 2021. DOI: 10.1016/j.cscm. 2021.e00630.

INBASEKAR, D. S. M.; HARIPRASATH, P.; SENTHILKUMAR, D. International journal of engineering sciences & research technology study on potential utilization of sugarcane bagasse ash in steel fiber reinforced concrete. **Int. J. Eng. Sci. Res. Technol**, v. 5, n. 4, p. 43-50, 2016. DOI:10.5281/zenodo.48824.

KANTIRANIS, N. Re-cycling of sugar-ash: a raw feed material for rotary kilns. **Waste Management**, v. 24, n. 10, p. 999-1004, 2004. DOI: 10.1016/j.wasman.2004.07.009.

KHAN, M. *et al.* Experimental and analytical study of hybrid fiber reinforced concrete prepared with basalt fiber under high temperature. **Fire and Materials**, v. 46, n. 1, p. 205-226, 2022.

KUMARI, A.; KUMAR, P. S. Experimental study on partial replacement of cement by sugarcane bagasse ash. **International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology**, v. 4, n. 7, p. 2347-6710, 2015.

MANJUNATHA, M. *et al.* Influence of PVC waste powder and silica fume on strength and microstructure properties of concrete: An experimental study. **Case Studies in Construction Materials**, v. 15, p. e00610, 2021. DOI: 10.1016/j.cscm. 2021.e00610.

MOURA, E. M. *et al.* Characterization and use of sugarcane bagasse ash in soil-cement bricks. **Ambiente Construído**, v. 21, p. 69-80, 2021. DOI: 10.1590/s1678-86212021000100494.

PAULA, M. O. *et al.* Potential of sugarcane bagasse ash as a partial replacement material for Portland cement/Potencial da cinza do bagaco da cana-de-acucar como material de substituição parcial de cimento Portland. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 353-358, 2009. DOI: 10.1590/S1415-43662009000300019.

QI, T.; FENG, G.; WANG, H. Pozzolanic activity of corn straw leaf ash produced at different temperatures and treated with portlandite solution. **BioResources**, v. 15, n. 4, p. 8708, 2020. DOI: 10.15376/biores.15.4.8708-8727.

SAMPAIO, Z. L. M.; SOUZA, P. A. B. F.; GOUVEIA, B. G. Analysis of the influence of the sugar cane bagasse ashes on mechanical behavior of concrete. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 7, p. 626-647, 2014. DOI: 10.1590/S1983-41952014000400006

SILVA, H. T. *et al.* Reuse of red ceramic waste in the production of concrete for civil construction. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e536101220967-e536101220967, 2021. DOI:10.33448/rsd-v10i12.20967

SILVEIRA, D.T. CÓRDOVA, F. P. Métodos de pesquisa. **Porto Alegre: Editora da UFRGS**, v. 1, 2009, p. 33-44.

SRIVASTAVA, E. S. *et al.* Studies on partial replacement of cement by bagasse ash in concrete. **Int. J**, v. 2, p. 43-45, 2015.

TRAN, K. Q.; SATOMI, T.; TAKAHASHI, H. Improvement of mechanical behavior of cemented soil reinforced with waste cornsilk fibers. **Construction and Building Materials**, v. 178, p. 204-210, 2018. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.104.

SAMPAIO, Z. L. M.; SOUZA, P. A. B. F.; GOUVEIA, B. G. Analysis of the influence of the sugar cane bagasse ashes on mechanical behavior of concrete. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 7, p. 626-647, 2014. DOI: 10.1590/S1983-41952014000400006



SILVA, H. T. *et al.* Reuse of red ceramic waste in the production of concrete for civil construction. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e536101220967-e536101220967, 2021. DOI:10.33448/rsd-v10i12.20967

SILVEIRA, D.T. CÓRDOVA, F. P. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, v. 1, 2009, p. 33-44.

SRIVASTAVA, E. S. *et al.* Studies on partial replacement of cement by bagasse ash in concrete. **Int. J.**, v. 2, p. 43-45, 2015.

TRAN, K. Q.; SATOMI, T.; TAKAHASHI, H. Improvement of mechanical behavior of cemented soil reinforced with waste cornsilk fibers. **Construction and Building Materials**, v. 178, p. 204-210, 2018. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.104.

Regeneração para Organizações: por uma virada onto-epistemológica e decorrentes implicações projetuais

Regeneration for Organizations: towards an onto-epistemological turn and resulting design implications

Natalí Abreu Garcia, Doutoranda, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

nataligarcia@gmail.com

Carlo Franzato, Doutor, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

carlofranzato@puc-rio.br

Resumo

Atualmente, no contexto organizacional, diversas práticas são adotadas sem uma adequada reflexão acerca dos paradigmas e da visão de mundo que as ancoram, e isso pode levar a uma inadequada compreensão e atuação sobre o contexto, ocasionando um aprofundamento da insustentabilidade dos nossos modos de ser e produzir. No presente artigo, apresentamos algumas implicações projetuais da perspectiva mecanicista e através de uma revisão bibliográfica e articulação entre autores, buscamos inspiração no tema de regeneração para organizações para a fundamentação de processos projetuais regenerativos, que possam se constituir como meios melhores que nos guiem para uma visão de mundo ecológica, complexa, processual e integral.

Palavras-chave: Regeneração; Organizações Regenerativas; Sustentabilidade

Abstract

Currently, in the organizational context, several practices are adopted without adequate reflection about the paradigms and worldview that anchor them, this can lead to an inadequate understanding and action on the context, causing a deepening of the unsustainability of our ways of being and producing. In this article we present some design implications from the mechanistic perspective and through a bibliographical review and articulation between authors, we seek inspiration in the theme of Regeneration for Organizations for the foundation of regenerative design processes, which may be better means to guide us to an ecological, complex, process-based, and integral worldview.

Keywords: Regeneration; Regenerative Organizations; Sustainability