

# AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA - ACV: UM COMPARATIVO ENTRE CONCRETO COMUM E CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO

Max Willian Costa Lyra<sup>1</sup>  
Daniel Costa da Silva<sup>2</sup>  
Vivianne Machado da Costa<sup>3</sup>

## RESUMO

A indústria da construção consome grande quantidade dos recursos naturais e energia. É uma das principais fontes de geração de resíduos e emissões de gases de efeito estufa. Devido a inúmeras vantagens, o concreto é a primeira escolha para a maioria das obras de infraestrutura. Mas a sua preparação e utilização têm um grande impacto nas mudanças climáticas e na poluição ambiental. Apesar das vantagens, sua resistência à flexão é pequena, devido as microfissuras que são desenvolvidas na zona de tensão. Várias pesquisas demonstraram que a incorporação de fibras de aço aumenta as características dúcteis do concreto. Com o objetivo de medir o impacto ambiental causado pelo concreto comum e pela sua evolução que é o concreto com adições de fibras, o modelo de avaliação do ciclo de vida (ACV) foi elaborado usando o software SimaPro 9.1 e o banco de dados Ecoinvent. Os resultados indicam que o concreto reforçado com fibras de aço tem maior impacto no meio ambiente quando comparado ao concreto comum.

**Palavras-chave:** SimaPro, Emissão de CO<sub>2</sub>, Sustentabilidade do Concreto.

## INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil tem uma implicação crescente no consumo global de recursos, sendo por natureza uma atividade que não é amiga do meio ambiente. Dos vários impactos negativos causados pelas atividades da construção, podemos ressaltar que é um dos grandes contribuintes para a geração de gases do efeito estufa. O crescimento acelerado e desordenado da indústria da construção civil, ocasionou um grande aumento no aquecimento global e nas mudanças climáticas, onde o aquecimento global é responsável pelas emissões dos gases do efeito estufa, tendo como sua principal emissão o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (KUMAR *et al.*, 2020).

---

<sup>1</sup> Mestrando do Curso de Engenharia Civil da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, [max.wcl@hotmail.com](mailto:max.wcl@hotmail.com);

<sup>2</sup> Mestrando pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, [daniel.costa.silva@hotmail.com](mailto:daniel.costa.silva@hotmail.com);

<sup>3</sup> Mestranda do Curso de Engenharia Civil da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, [vivianmachadoc@gmail.com](mailto:vivianmachadoc@gmail.com);

O esgotamento dos recursos naturais, a degradação ambiental e a poluição têm influenciado diretamente na produção de práticas de construção sustentáveis (COLANGELO *et al.*, 2018). Em média a indústria de construção mundial consome cerca de 40% de energia, 30% do uso de matérias-primas, 25% de resíduos, 12% do uso da terra e 33% das correspondentes emissões de gases de efeito estufa do mundo. Grande parte da emissão é devido à retirada de matéria-prima para a produção do cimento, preparação e transporte do concreto e seus materiais constituintes (COROMINAS *et al.*, 2020).

Sabe-se que o concreto é o elemento estrutural mais utilizado no mundo depois da água, e tem como seu principal constituinte o cimento, que é amplamente conhecido por ser um grande contribuinte do aquecimento global. Em grande parte, esta sua elevada utilização, é decorrente das suas inúmeras vantagens, durabilidade e elevada resistência à compressão. Apesar disto, a resistência a flexão do concreto é limitada, além do caráter frágil que pode ocasionar falhas repentinas (KUMAR *et al.*, 2020).

Com o objetivo de minimizar o comportamento frágil do concreto e aumentar a sua durabilidade através do controle de microfissuras que podem dar um caminho para a deterioração do concreto, insere-se fibras de aço na mistura do cimento. Este tipo de fibra tem demonstrado elevado potencial para reduzir o desenvolvimento de microfissuras e aumentar a resistência do concreto (SANCHETI E SINHA, 2021).

Considerando os impactos ambientais ao utilizar o concreto que é um material à base de cimento, e a necessidade de o concreto estar sempre em constante evolução para atender as demandas de mercado, este artigo irá analisar o impacto ambiental, em especial a quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> através da comparação do concreto comum com um concreto reforçado com adição de fibras de aço. O objetivo é analisar se a evolução do concreto convencional pode evoluir também para o aumento dos impactos ambientais.

Com isto, foi feita uma avaliação do ciclo de vida (ACV), que é uma ferramenta utilizada para avaliar quantitativamente o ciclo de vida de produtos e/ou atividades, do concreto comum e do concreto com adição de fibras de aço, e posteriormente comparadas. Foi utilizado o software SimaPro 9.1.1, com o banco de dados Ecoinvent 3.1 para gerar um modelo de ACV e comparar os efeitos ocasionados ao meio ambiente através das emissões de CO<sub>2</sub> e dos impactos ambientais de um concreto comum (CC) e um concreto com adição de fibras de aço (CF).

Afim de obter informações mais realistas e assim ter um estudo mais completo, foi utilizado como referência o artigo de Higa *et al.* (2007), que fez um estudo da tenacidade de

concreto reforçado com fibras de aço. Assim, foram feitas as adaptações pertinentes para que fosse possível uma análise mais adequada.

## REFERENCIAL TEÓRICO

A avaliação do ciclo de vida cada vez mais está sendo utilizada pela construção civil, principalmente devido a crescente busca por construções sustentáveis. Com o passar do tempo, a intensidade da busca por projetos que produzem menos impacto ao meio ambiente tende a aumentar tornando-se uma rotina para os arquitetos e projetistas. Esses projetos devem se basear cada vez mais na escolha de produtos menos agressivos ao meio ambiente (OLIVEIRA, 2007).

Segundo Campos (2012, p.19), a alta procura por construções sustentáveis vêm tornando a ACV uma ferramenta amplamente utilizada para verificar desempenho dos sistemas de produção, dos materiais e da edificação ao longo da sua vida útil. A ACV permite realizar uma análise de tudo o que possa contribuir de melhoria para a construção civil, oferecendo especialmente, informações sobre os impactos ambientais gerados.

Muitas vezes o conceito da análise do ciclo de vida está ligado diretamente a durabilidade e ao desempenho das construções, ou seja, quanto mais tempo a edificação durar, mais tempo se manterá os recursos na natureza. Caso haja a necessidade da substituição desse edifício, se levará mais tempo para que os resíduos decorrentes da demolição sejam transportados e despejados de volta no meio ambiente. Por isso, a análise do ciclo de vida de um edifício, compreendendo todas as etapas de implantação, planejamento, uso, manutenção e possível demolição, é fundamental para a avaliação do seu impacto ambiental. O conceito de desempenho e sustentabilidade andam juntos, sendo a vida útil o elo mais comum entre eles. (BORGES, 2012).

Por motivos de praticidade e eficiência, a ACV é normalmente dividida em quatro etapas, que são: a definição dos objetivos e escopo, na qual o propósito da análise é especificado, bem como é definida a unidade funcional do estudo; a análise de inventário, na qual os cálculos de consumo de recursos e de emissões são realizados; a avaliação de impactos, na qual as emissões e o consumo de recursos são relacionados a diferentes categorias de impactos ambientais, e, por fim a interpretação, onde os resultados de cada uma das etapas anteriores são avaliados, assim identificando a necessidade de adequação das definições do estudo (SAADE *et al.*, 2014).

Em suma, a Avaliação do Ciclo de Vida é uma ferramenta metodológica utilizada para avaliar, quantitativamente, o ciclo de vida de produtos e/ou atividades em termos de sua interação com o meio ambiente (GOEDKOOP *et al.* 2009). A ACV pode ser entendida como sendo a compilação dos fluxos de entrada e de saída e a avaliação dos impactos ambientais associados a um produto ou processo ao longo de seu ciclo de vida. A ACV parte do princípio de que todos os estágios da vida de um produto/processo têm potencial para gerar impactos ambientais relevantes, devendo, portanto, serem avaliados, configurando uma abordagem holística da questão (FERRÃO, 1998).

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Utilizou-se como referência a pesquisa de Higa *et al.* (2007), para a determinação do traço do concreto objeto deste estudo e seus materiais constituintes. Com isto, para o concreto comum (CC) foi utilizado o cimento CII-E para melhor análise dos resultados, como agregado miúdo foi utilizada areia de quartzo, a brita I com diâmetro máximo característico de 19 mm como agregado graúdo e água. Afim de fazer a comparação de dois tipos distintos de concreto, foi feita uma segunda mistura com o mesmo traço e materiais, mas com adição de fibra de aço designada de fibra Tipo I ou simplesmente F1, afim de obter um concreto reforçado com adição de fibra de aço (CF). Quanto a determinação do traço, no artigo utilizado como referência foi definido três traços com diferentes proporções e conseqüentemente três resistências características do concreto. Porém, no presente estudo foi definido somente um traço para análise que foi de 1:3:0 em termos de proporção de massa de cimento, sendo respectivamente cimento, areia e brita, onde observa-se que a brita foi retirada com a finalidade de diminuir a quantidade de vazios na mistura. E conseqüentemente, somente uma resistência característica do concreto que foi de 35 MPa, afim de obter uma melhor análise comparativa e melhores resultados através da utilização do programa para análise da ACV.

Para cada mistura, foi moldado um corpo de prova prismático com dimensões de 15cm x 15cm x 50cm, para serem submetidos ao ensaio de tração na flexão com deformação controlada.

Após o levantamento de todos os dados necessários para a análise, os mesmos foram inseridos no software SimaPro 9.1.1. Devido a algumas limitações do programa, houve a necessidade de adotar um traço diferente do definido inicialmente, onde o novo traço será 1:1,5:3. Após a adaptação do novo traço nas duas misturas, foi utilizada a quantidade de

materiais conforme tabela abaixo, para o mesmo corpo de prova prismático que totaliza um volume de 0.01125 m<sup>3</sup>. A ACV é feita pelo programa utilizando como referência o volume do concreto que será utilizado. A definição da quantidade de fibra a ser usada, foi a que apresentou melhor eficiência segundo a autora, que foi uma proporção de 45 Kg/m<sup>3</sup> de concreto. A quantidade total dos materiais que serão utilizados na mistura foi fixada em kg para todos os tipos de concreto, com a finalidade de obter melhores resultados que refletem a unidade funcional.

Tabela 1 – Quantitativo de materiais para cada amostra.

Materiais	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Cascalho (Kg)	Fibra (Kg)	Água (L)
CC	4,33	10,02	12,88	0	2,13
CF	4,33	10,02	12,88	0,50625	2,13

Fonte: Autores, 2021.

Outra adaptação que foi necessária na mistura devido a limitações do programa, foi a substituição de brita por cascalho, devido a não possuir este tipo do agregado graúdo no sistema. Então, a composição final da mistura genérica consiste em: Cimento Portland, cascalho, água e areia. Para realizar a comparação e assim fazer a análise do inventário, foi utilizado dentro do banco de dados Ecoinvent 3, o concreto com resistência à compressão de 35 MPa comum e o concreto com resistência à compressão de 35 MPa com adição de fibra de aço.

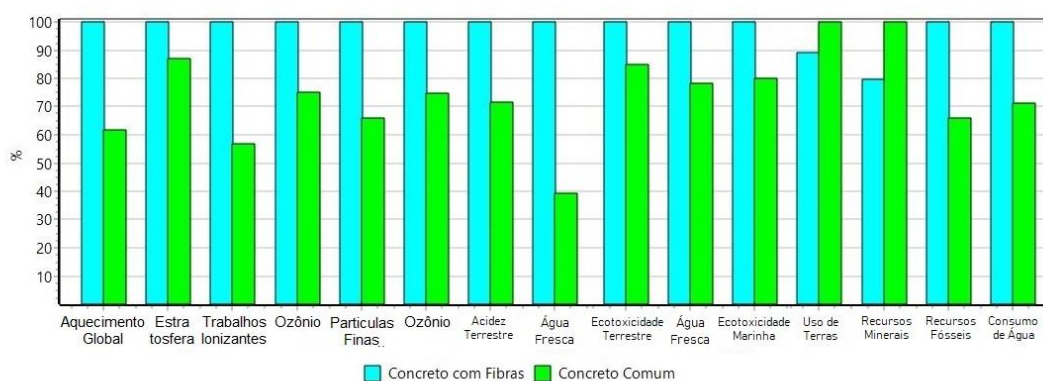
Foi utilizado no programa o método do ponto médio ReCiPe 2016, onde este é o método de avaliação utilizado pelo software SimaPro para realizar as análises da ACV. Esta metodologia foi selecionada para a análise do presente estudo, devido a possibilidade de fazer comparações entre diferentes tipos de concreto, onde pode-se escolher diversos tipos de cimentos como por exemplo o CPI, CPII, CPV entre outros.

A abordagem ReCiPe divide as informações obtidas após a inserção dos dados referentes ao material a ser estudado, em dois tipos de impactos e inclui classificações de previsão para expressar a magnitude dos impactos ambientais. Estes dois tipos de impactos gerados pelo programa chamam-se de ponto médio (midpoint) e ponto final (endpoint), onde de acordo com a definição de Cavalett *et al.* (2013), o midpoint é toda a substância referente a análise de impacto do custo de vida, que possui características que não representam as consequências finais sobre o percurso ambiental de todas as emissões listadas no inventário, mas são indicadores de impacto em potencial. Já o endpoint, é caracterizado principalmente a gravidade ou as consequências da categoria dos impactos de ponto médio, quantificando as consequências finais das externalidades nas respectivas áreas de proteção (danos ao

ecossistema, saúde humana e recursos de proteção). Os resultados estão mais focados nos danos incorridos pela fabricação dos concretos em questão.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a inserção dos dados no programa SimaPro, foi analisada quantitativamente a Avaliação do Ciclo de Vida ambiental. Foram obtidos resultados com relação aos impactos ambientais, a emissão do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no meio ambiente e a avaliação de danos gerados pelo concreto e pelo concreto com adição de fibra de aço, comparando-os.



A comparar 1 p 'Concreto com Fibras' com 1 p 'Concreto Comum'; Método: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.04 / World (2010) H / Caracterização / Excluindo processos de infraestrutura

Gráfico 1 – Impactos Ambientais.

Fonte: Autores, 2021.

Quanto aos impactos ambientais apresentados no Gráfico 1, é possível verificar que o concreto reforçado com fibras de aço se comparado ao concreto comum, tem maior consumo de água potável, maior contribuição para o aquecimento global, maior consumo de combustíveis fósseis em sua produção, maior emissão de gases do efeito estufa, maior acidificação terrestre e toxicologia humana, podendo até contribuir para o aumento do câncer na humanidade. Sendo que os aumentos destes fatores contribuem diretamente para o aumento dos impactos gerados pela construção de estruturas com a utilização de concreto com adição de fibra de aço.

Porém, ao observar o concreto comum, o impacto ambiental gerado por este tipo de material só é maior que o concreto com fibra de aço, no uso de terras e no consumo de recursos minerais. Quando o concreto comum está a 100% num ato comparativo, o concreto com fibra de aço está a aproximadamente 90% em relação ao uso de terras. Já quanto ao consumo de recursos minerais, enquanto o CC está a 100%, o CF está aproximadamente a 80%, apresentando uma certa redução. Com isto, é observado que a contribuição ao



aquecimento global de uma estrutura que utiliza concreto comum, é reduzida quando comparada ao concreto com adição de fibra de aço.

Devemos observar que estes maiores impactos ambientais do concreto comum em comparação ao concreto com fibra de aço, necessita de uma análise mais profunda no programa onde estes resultados foram gerados, para assim podermos concluir com exatidão quais seriam as causas. Mas, conforme o que já foi exposto com relação ao ACV e aos benefícios do concreto com adição de fibras de aço, pode-se chegar a conclusão de que devido a estruturas projetadas com concreto com o uso de fibras de aço terem uma melhora expressiva no seu desempenho e conseqüentemente uma maior durabilidade, o impacto ambiental gerado por este tipo de concreto será menor. Isto acontece, pois, quanto mais a edificação durar, mais tempo os recursos irão se manter na natureza e também maior será o tempo para repor os recursos da natureza utilizados na sua produção.

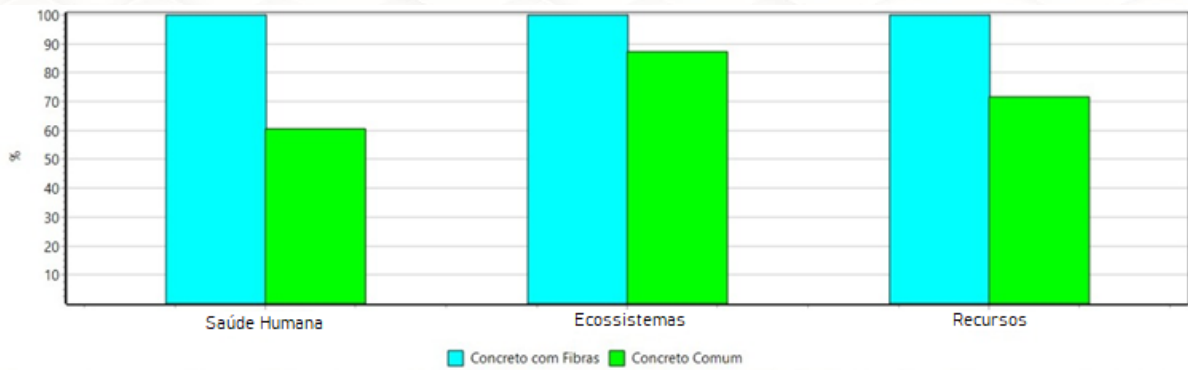
Já no quadro abaixo, temos disposta as quantificações de carbono emitidas do ar, da matéria prima, do solo e da água. Mas o que é realmente relevante para o presente estudo, é a emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) da matéria prima no ar. O concreto com fibras de aço emite cerca de 42,86% a mais se comparado com o concreto comum.

Quadro 1: Emissão de Carbono, destacado a Emissão de CO<sub>2</sub>.

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Concreto com Fibras	Concreto Comum
81	Carbono	Ar	ng	506	114
82	Carbono	Água	µg	1.73	0.391
83	Carbono	Solo	mg	54.8	32.2
84	Dióxido de carbono, biogênico	Ar	g	256	171
85	Dióxido de carbono, no ar	Matéria prima	g	210	147
86	Monóxido de carbono, biogênico	Ar	g	6.97	4.62
87	Monóxido de carbono, fóssil	Ar	g	12.5	5.17
88	Monóxido de carbono, transformação da terra	Ar	mg	19.2	15.9
89	Carbono, orgânico, em estoque de solo ou biomassa	Matéria prima	mg	259	220
90	Carbonato	Água	mg	2.4	1.96

Fonte: Autores, 2021.

Na análise comparativa com relação a avaliação de danos, o concreto com adição de fibras de aço gera maiores danos à saúde humana, ao ecossistema e aos recursos naturais. Observa-se que a maior diferença neste comparativo é com relação a avaliação de danos referente à saúde humana, onde o concreto com adição de fibras de aço que é o maior valor e está com 100%, causa 40% a mais de danos à saúde humana do que o concreto comum. Prosseguindo com a análise, o CF causa 30% a mais de danos gerados aos recursos naturais e aproximadamente 12% a mais de danos nos ecossistemas, se comparado com os danos causados pelo CC.



A comparar 1 p 'Concreto com Fibras' com 1 p 'Concreto Comum'; Método: ReCiPe 2016 Endpoint (H) V1.04 / World (2010) H/A / Avaliação de danos / Excluindo processos de infraestrutura

Gráfico 2 – Avaliação de Danos.

Fonte: Autores, 2021.

Isto mostra que o concreto comum reduz os efeitos das emissões de CO<sub>2</sub>, devido à redução da extração dos recursos naturais, tendo impacto mais significativo na redução da pegada de carbono no meio ambiente.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo avaliar o ciclo de vida de dois tipos de concretos, um concreto comum e um concreto reforçado com a adição de fibras de aço e compará-los quanto aos impactos ambientais causados pela utilização.

Foi analisado que a adição de fibras de aço no concreto, traz grandes benefícios quanto ao aumento da resistência a tração, a tenacidade e a ductilidade, maior resistência a impactos e o controle de fissuras, que resulta em uma vida útil mais longa da estrutura que for construída com este tipo de concreto. Ressaltando que a análise do ciclo de vida está diretamente ligada a durabilidade e ao desempenho das construções.

No entanto, os danos que a utilização do concreto com adição de fibras de aço causa na saúde humana, no ecossistema e nos recursos naturais, são relativamente maiores se comparado ao concreto comum. Já o uso de terras e o consumo de recursos minerais é significativamente menor no mesmo concreto. Vale ressaltar que, o aquecimento global e a emissão de CO<sub>2</sub> também foi maior no concreto com adição de fibra de aço, em comparação ao concreto comum. Em suma, estruturas projetadas com a utilização de concreto com adição de fibras de aço, causam maior impacto ambiental quando comparadas a estruturas com concreto comum.

Quanto ao programa utilizado, foi observado algumas limitações, principalmente quanto a reduzida quantidade de banco de dados brasileiro. Não há como utilizar dados provenientes de outros países em função das especificidades de cada local, como: matriz



energética, insumos, processos, emissões, entre outros (HACHICH e GUIMARÃES, 2012). E por conta disto, tem ocorrido uma limitação na aplicação da metodologia da ACV, o que ocasionou no presente trabalho a necessidade de fazer mudanças nos materiais para poder concluir o estudo.

Com isto, o CBCS – Conselho Brasileiro da Construção Sustentável vem desenvolvendo uma metodologia simplificada da análise do ciclo de vida para poder iniciar a construção da base de dados nacional, e com isto tal metodologia poderá ser mais difundida e utilizada no Brasil. A falta do banco de dados e a inacessibilidade dos dados no Brasil torna a ACV uma ferramenta limitada, pois os dados faltantes em cada uma das fases da ACV dificultam a aplicação da ACV e limitam a reutilização de resíduos gerados, não inviabilizando este método como ferramenta (OLIVEIRA, 2007).

## REFERÊNCIAS

- BORGES, C. Certificações, normas e legislação. In: SOUZA, Josiani (Coord.). *Sustentabilidade nas obras e nos projetos: Questões práticas para profissionais e empresas*. São Paulo: **Pini**, p.42-44, 2012.
- CAMPOS, F. *Análise do Ciclo de Vida na construção civil: um estudo comparativo entre vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria em blocos de concreto*. Dissertação de Mestrado, **Programa de Pós-Graduação em Construção Civil**, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, MG, 2012.
- CAVALETT, O. *et al.* Comparative LCA of ethanol versus gasoline in Brazil using different LCIA methods. **Int J Life Cycle Assess**, 647-658, 2013.
- COLANGELO, F. *et al.* Life cycle assessment of recycled concretes: a case study in southern Italy. *Sci. Total Environ*, p. 1506-1517, 2018.
- COROMINAS, L. *et al.* The application of life cycle assessment (LCA) to wastewater treatment: a best practice guide and critical review. **Water Res.**, p. 116058, 2020.
- FERRÃO, P.C. *Introdução à gestão ambiental: a avaliação do ciclo de vida de produtos*. **IST Press**, 1998.
- GOEDKOOOP, M. *et al.* Recipe: a life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level. Netherlands, Ministry of Housing, **Spatial Planning and Environment**, 2009.
- HACHICH, V. F.; GUIMARÃES, M. C. *Materiais e Componentes*. In: SOUZA, Josiani (Coord.). *Sustentabilidade nas obras e nos projetos: Questões práticas para profissionais e empresas*. São Paulo: **Pini**, p. 77, 2012.

HIGA, L. H. *et al.* Método de dosagem do concreto reforçado com fibras de aço para otimização da tenacidade. Anais do 49º Congresso Brasileiro do Concreto – CBC, **IBRACON**, setembro, 2007.

KUMAR, R. *et al.* Development of sustainable concrete using silica fume and stone dust. Mater. **Today Proc.**, p. 882 – 887, 2020.

OLIVEIRA, A. Análise ambiental da viabilidade de seleção de produtos da construção civil através da ACV e do software BEES 3.0. Dissertação de Mestrado, **Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2007.

SAAD, M. RM. *et al.* A Avaliação do Ciclo de Vida – ACV, e a etapa de avaliação de impactos ambientais: considerações sobre o uso de diferentes métodos e seus reflexos nos resultados finais, Revista **Natureza On Line**, p. 109-116, 2014.

SANCHETI, G.; SINHA, R. Feasibility of using steel fibers for enhancing flexural strength in concrete – A review. Materialstoday: **Proceedings**, v.43, parte 5, p. 3200-3202, 2021.