

ÁREA TEMÁTICA: GESTÃO AMBIENTAL

AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS DE AÇO E CONCRETO: IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS

Fernanda Gabriela Goulart Leques (fe.leques@gmail.com), Fabrício L. Bolina (fabriciobolina@gmail.com), Carlos Alberto Mendes Moraes (cmoraes@unisinov.br)

Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

RESUMO

O impacto da construção no meio ambiente ocorre em toda a sua cadeia produtiva, desde a extração da matéria-prima até a demolição. Esse estudo tem o intuito de apontar alguns aspectos importantes que auxiliam qualificar uma estrutura de aço como mais sustentável. Foram referenciados alguns parâmetros, como a avaliação do ciclo de vida dos materiais e a Certificação AQUA-HQE. Através de um levantamento de pesquisas científicas e de publicações, foram apontadas as diferenças entre os sistemas construtivos de estruturas de aço e de concreto, por serem usualmente empregadas. Ao término dos estudos, foi verificado que apesar das estruturas metálicas apresentarem inúmeros fatores que contribuam para a sustentabilidade, como o seu alto potencial de reciclagem, de reaproveitamento e industrialização, que reflete em maior qualidade dos materiais, o processo de extração do ferro é muito devastador. Enquanto que as estruturas de concreto geram um grande impacto ambiental durante toda a sua linha de vida.

Palavras-chave: Estruturas de concreto; Estruturas de aço; Impacto ambiental.

EVALUATION OF STEEL AND CONCRETE STRUCTURES: ASSOCIATED ENVIRONMENTAL IMPACTS

ABSTRACT

The impact of construction on the environment occurs throughout its production chain, from the extraction of raw materials to demolition. This study aims to point out some important aspects that help in qualifying a steel structure as more sustainable. Some parameters were referenced, such as a material life cycle assessment and an AQUA-HQE certification. Through a survey of scientific research and publications, they were pointed out as differences between the construction systems of steel and concrete structures, as they are currently used. At the end of the studies, it was selected that despite the metallic structures presented in the numbers, factors that contribute to sustainability, such as its greater potential for recycling, re-approval and industrialization, which exhibits a higher quality of materials, or the iron extraction process is very devastating. While the concrete structures generate a great environmental impact throughout their life line.

Keywords: Concrete structures; Steel structures; Environmental impact.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores que mais colabora para o desenvolvimento do país, sendo responsável por gerar empregos e por movimentar a economia brasileira. Por outro lado, é o setor que mais contribui para os impactos ambientais e, também, o que mais gera resíduos dentre todas as atividades produtivas, conforme o Ministério do Meio Ambiente:

O Conselho Internacional da Construção – CIB aponta a indústria da construção como o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais. Além dos impactos relacionados ao consumo de matéria e energia, há aqueles associados à geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Estima-se que mais de 50% dos resíduos sólidos

gerados pelo conjunto das atividades humanas sejam provenientes da construção. (BRASIL, 2019).

SJÖSTRÖM (2000) estima que a indústria da construção consome, aproximadamente, 40% da energia e dos recursos naturais do planeta, esse percentual varia conforme o país e o nível de atividade econômica.

A utilização desenfreada dos recursos naturais reflete na alteração climática mundial. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) afirma que há 90% de certeza que o aumento da temperatura na Terra está sendo causado pela ação do homem, principalmente por meio da emissão de gases que causam o efeito estufa, tais como o dióxido de carbono, óxido nitroso e metano.

Nesse cenário, a temática sustentabilidade no setor da construção civil torna-se fundamental para a sobrevivência do planeta. É necessária a criação de soluções que aliem a necessidade de construção do homem à preservação do meio ambiente, promovendo harmonia entre as esferas ecológicas, sociais e econômicas.

Ainda na fase de projeto, na etapa de planejamento da obra, é possível criar soluções que reduzam esse impacto, como a escolha de materiais mais sustentáveis e o projeto otimizado, no qual a geração de resíduos seja a menor possível. A compatibilização de todas as disciplinas, também, auxilia para evitar retrabalho e para criar alternativas que reduzam a utilização de energia durante a construção e a utilização da edificação.

Castro (2013) afirma que “a introdução dos conceitos de construção sustentável na fase inicial do projeto estrutural pode influenciar o comportamento global do edifício ao longo do seu ciclo de vida.”

2. OBJETIVO

A intenção desse estudo é analisar e comparar indicadores de sustentabilidade dos principais sistemas estruturais utilizados nas construções, o aço e o concreto, para uma edificação.

3.

4. METODOLOGIA

Para elaboração desse trabalho, foi feito um levantamento de dados qualitativos, com o intuito de apontar impactos ambientais das estruturas de concreto e aço. Para isso, foi feita uma pesquisa científica em órgãos ambientais, em trabalhos acadêmicos e em empresas certificadoras de indicadores de sustentabilidade. E por último, foi feita uma avaliação dos dados, comparando qual sistema estrutural é mais sustentável.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Construções Sustentáveis

O Conselho Internacional da Construção (CIB) definiu, em 1994, o conceito de Construção Sustentável como “a criação e manutenção responsáveis de um ambiente construído saudável, baseado na utilização eficiente de recursos e no projeto baseado em princípios ecológicos” (Kibert *apud* Torgal; Jalali, 2010, p.23)

A primeira convenção internacional sobre construção sustentável ocorreu em 1997 na Finlândia. E um ano depois, o Reino Unido lançou-se como a primeira entidade de certificação de prédios sustentáveis, a BREEAM. No Brasil, as primeiras iniciativas de construção sustentável ocorreram após a Conferência Rio-92, onde começaram a ser realizadas pesquisas sobre o assunto.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente:

Construção sustentável é um conceito que denomina um conjunto de medidas adotadas durante todas as etapas da obra que visam a sustentabilidade da edificação. Através da adoção dessas medidas é possível minimizar os impactos negativos sobre o meio ambiente além de promover a economia dos recursos naturais e a melhoria na qualidade de vida dos seus ocupantes. (BRASIL, 2019)

O nível de sustentabilidade das edificações pode ser quantificado por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que é um processo sistemático que aponta os danos que um produto ou um

processo causa no meio ambiente. Conforme Oliveira (2013), estudos de avaliação do ciclo de vida (ACV) apontam o sistema estrutural como um dos principais contribuintes para as cargas ambientais de uma edificação.

Há, ainda, algumas certificações que qualificam a obra como sustentável. Dentre os sistemas de avaliação de edificações sustentáveis pode-se destacar: *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), *National Australia Built Environment Rating System* (NABERS), *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency* (CABEE), *Ecoeffect*, *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM), *Sustainable Building Assessment Tool* (SBAT) e o Alta Qualidade Ambiental (AQUA-HQE), dentre outros. No Brasil, atualmente, as mais utilizadas são LEED e AQUA-HQE (MATOS, 2014).

Segundo Oliveira (2013), esses sistemas de avaliação não dispensam atenção específica aos sistemas estruturais. A maioria deles, ao tratar o tema materiais e recursos, pontua iniciativas de redução de consumo de recursos naturais não renováveis, tais como, reciclagem, reuso, flexibilidade, sem, no entanto, discriminar o sistema estrutural da edificação, a não ser pela menção ao reuso da estrutura existente. Exceção faz-se aos sistemas AQUA e ao japonês CASBEE.

No que se refere à sustentabilidade, a *Fédération Internationale du Béton* 53 (2010, p. ? apud POSSAN e DEMOLINER, 2013, p. 4), apresenta o modelo conceitual mostrado na Figura 1, o qual combina sistematicamente os conceitos de qualidade (durabilidade), funcionalidade e custo do ciclo de vida e impacto ambiental. O projeto de uma estrutura deve buscar o equilíbrio entre esses três fatores, atingindo o nível de excelência (nível de realização 3).

Figura 1. Combinação sistemática dos componentes para a sustentabilidade



Fonte: Possan e Demoliner (2013).

Segundo Possan e Demoliner (2013), “para alcançar esse equilíbrio é fundamental projetar estruturas com elevada vida útil, pois quanto maior ela for menos recursos são necessários para a construção de novas estruturas. Essa mesma premissa é válida para as edificações”.

Usualmente, as premissas para a escolha do tipo de sistema estrutural, nas edificações brasileiras, antes de passar pelo fator da sustentabilidade, levam em conta o atendimento ao requisito de segurança estrutural, os custos, a compatibilização com o projeto arquitetônico e o tempo de execução. Com a norma de desempenho NBR 15575:2013, a questão da durabilidade e da manutenção das edificações mostrou ser, também, um aspecto muito importante na seleção dos sistemas construtivos, que está intimamente relacionada à vida útil de projeto do sistema estrutural e dos materiais.

5.2 Avaliação do Ciclo de Vida

A Avaliação Ciclo de Vida (ACV) consiste no estudo dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais positivos e negativos durante toda a cadeia produtiva, como, por exemplo, extração da matéria-prima e combustíveis utilizados para adquirir a energia necessária, produção dos componentes de construção, transporte de materiais, montagem e execução, utilização (incluindo

o consumo de energia, manutenção, reparação e renovação), demolição e, por fim, destinação final (reciclagem ou reutilização), ao longo da vida útil de um produto ou serviço.

Segundo o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT, 20-?)

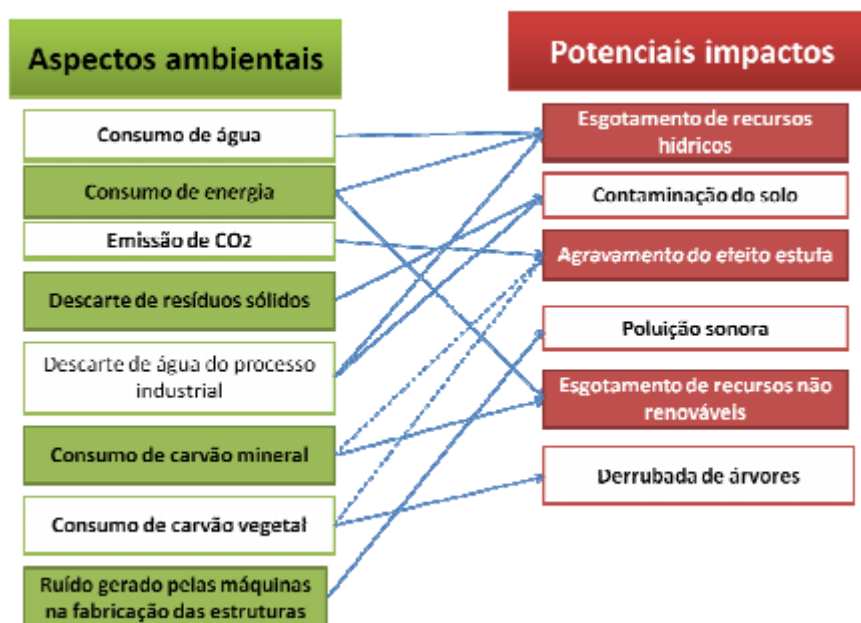
A produção de qualquer produto pode atingir o meio ambiente de diversas formas. Neste sentido, os fluxos de matéria e energia envolvidos no ciclo de vida de um produto são medidos e relacionados a diversas categorias de impactos ambientais. Ao final, é possível compreender quais danos ou benefícios da fabricação e uso de um produto específico.

A ACV é regulamentada pelas normas de gestão ambiental ABNT NBR ISO 14040:2009 e ISO 14044:2009. A primeira norma estabelece os princípios e a estrutura para a avaliação do ciclo de vida (ACV), em que é dividida em quatro fases: a definição de objetivo e de escopo, a análise de inventário (especificação dos dados de entrada e de saída relacionados ao sistema em estudo), a avaliação de impactos e a interpretação. E a segunda norma diz respeito aos requisitos e às orientações da avaliação do ciclo de vida (ACV).

Construção Sustentável (2017, p.58) elenca como um dos motivos da pouca utilização do ACV no Brasil, diferentemente dos países desenvolvidos, “a falta de um banco de dados consistente e completo pode ser identificada como uma grave barreira para o desenvolvimento da AVC no Brasil, que poderia oferecer aos especificadores e tomadores de decisão informações seguras sobre o desempenho ambiental de produtos”.

International Workshop Advances In Cleaner Production (2013) fez um estudo da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) na etapa de fabricação de estruturas metálicas de uma plataforma de aço e fez a correlação dos aspectos ambientais com os potenciais impactos, conforme a Figura 2,

Figura 2. Correlação de aspectos e impactos ambientais



Fonte: Coelho (2013).

Bento (2016) também fez uma análise de estruturas de concreto armado através da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e chegou à seguinte conclusão:

“Pode-se obter a melhoria do desempenho ambiental das estruturas de concreto armado por meio da avaliação, durante a fase de projeto, da utilização de diferentes classes de resistência do concreto, por meio de alterações nas dimensões dos elementos estruturais, bem como do consumo dos materiais componentes da estrutura.” (BENTO, 2016, p. 193)

O Congresso Brasileiro do Concreto (2013) mostrou um estudo onde, através do método da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), foi realizada uma análise do desempenho ambiental das estruturas de concreto armado para as classes de resistência de concreto C25, C30 e C35. Para as classes C25 e C30, as dimensões dos elementos estruturais foram mantidas e para a classe C35, essas dimensões foram reduzidas. Nessa análise, foram avaliados impactos como eutrofização, formação de ozônio, aquecimento global, toxicidade humana, acidificação, ecotoxicidade, consumo de recursos energéticos e categoria de impacto de resíduos. Ao fim desse estudo, verificou-se que a estrutura de classe C35 apresentou resultados ambientais mais favoráveis, como também mais mostrou ser mais econômica que às demais classes. Isso se deve ao fato da redução das seções, devido ao aumento da resistência do concreto.

5.3 Certificação AQUA-HQE

Vanzolini (2019) define o processo AQUA-HQE como “uma certificação internacional da construção sustentável desenvolvido a partir da certificação francesa *Démarche HQE (Haute Qualité Environnementale)* e aplicado no Brasil exclusivamente pela Fundação Vanzolini.” Os referenciais técnicos de certificações foram concebidos levando em consideração as características do país, como a regulamentação, o clima e a cultura brasileira, fundamentada nas premissas dos parâmetros da certificação HQE francesa.

Segundo os indicadores da Fundação Vanzolini, desde o seu lançamento em 2008 até o ano de 2018, um total acumulado de 502 edifícios brasileiros foram certificados pelo selo AQUA-HQE, representando 9.239.661,80m². No Rio Grande do Sul, nove edifícios são certificados.

A certificação AQUA é composta por 14 categorias, que são avaliadas com base em desempenho e classificadas nos níveis base, boas práticas ou melhores práticas. O sistema estrutural é abrangido na família Sítio e Construção, na categoria nº2, denominada como Escolha Integrada de Produtos, Sistemas e Processos Construtivos. Oliveira (2014) afirma que:

“A definição de produtos, sistemas e processos está intimamente relacionada em estabelecer à garantia da durabilidade da construção, da limitação dos impactos socioambientais, das escolhas adaptadas a vida útil e da conservação ou manutenção dos materiais.”

A categoria nº2 da certificação AQUA destaca como uma das preocupações do selo a seleção de produtos, sistemas e processos que contribuam para a diminuição da emissão de gases de efeito estufa, redução dos resíduos colocados no ambiente, aumento do aproveitamento por reuso e reciclagem de materiais, aplicação da utilização dos recursos renováveis e adoção de medidas que impeçam o esgotamento os recursos naturais. Para isso, conforme indica a Fundação Vanzolini (2013), são necessárias algumas medidas, como:

- i. Escolha de materiais fabricados a menos de 300 km percorridos do local da obra, promovendo uma menor emissão dos gases de efeito estufa;
- ii. Utilização de cimento CP III ou CP IV para as estruturas de concreto, conforme a disponibilidade dos mesmos no local da obra. Isso se deve ao fato desses cimentos apresentarem adições de escória de alto forno e cinzas volantes, o que garante uma diminuição de emissões dos gases NO_x, SO_x e CO₂;
- iii. Adoção de materiais que, durante a sua etapa de produção, possuam CO₂ neutralizado por investimentos em projetos ambientais, como por exemplo, o reflorestamento de áreas nativas devastadas, a conservação de áreas florestais e a geração de energia limpa;
- iv. Uso de produtos, sistemas e processos construtivos que apresentem por comparação, ao final da vida útil do prédio, uma facilidade maior para desconstrução seletiva, no mínimo 50% em custo global dos elementos de estrutura portante horizontal, de estrutura de cobertura, de fachada e de elementos de fachada;

- v. Comprovar a procedência e a conformidade legal da área de extração dos recursos naturais não renováveis utilizados, como: areia, brita, gesso e pedras naturais;
- vi. Para o caso da utilização da madeira nativa, como um recurso natural renovável, é necessária a apresentação do Documento de Origem Florestal (DOF). Deve-se, também, utilizar madeira de reflorestamento e certificadas. Além disso, o empregador deve utilizar somente chapas compensadas e de aglomerados com baixas taxas de emissão de formaldeído, bem como madeiras que não tenham sido submetidas a tratamentos que contemplem substância química ativa e que possuam acabamento que emitam baixas taxas de COV. Nos casos de estruturas em concreto, deve-se atentar à essa questão, uma vez que, geralmente, as fôrmas são de madeira;
- vii. Escolher sistemas e processos que garantam a durabilidade dos edifícios, conforme a vida útil requerida.

Então, basicamente, a certificação AQUA aponta, no quesito da sustentabilidade nas estruturas, um cuidado especial na adoção de materiais de qualidade, que garantam durabilidade e cumprimento à vida útil, que emitam menores quantidades de gases e sejam fabricados próximos ao local da obra, devido ao transporte. Como exemplo de edificação que possui o selo AQUA-HQE, pode-se citar o empreendimento Business Service Center da Tereos Açúcar e Energia (Figura 3), localizado em São José do Rio Preto. Estima-se que durante a sua utilização, haverá uma redução de 63% do consumo de energia e de 50% do consumo interno de água. O edifício possui cerca de 1.700 m² de área construída e, como solução estrutural, foi adotado o pré-fabricado em concreto, uma estratégia que contribuiu para a minimização e a neutralização dos resíduos da obra.

Assim como o aço, as estruturas pré-fabricadas de concreto promovem uma racionalização e redução na perda de materiais. Além disso, o edifício foi construído durante nove meses, isso permitiu uma diminuição no prazo de execução, já que operações como montagem de formas e escoramentos não são necessários, sem contar o fato de não depender das condições meteorológicas, o que proporciona o trabalho em várias frentes de trabalho. Outro aspecto importante é a promoção de um desempenho maior e uma qualidade elevada, quando comparada ao concreto tradicional, pois estruturas pré-fabricadas possuem uma padronização e um rigoroso controle de qualidade, pois são produzidas de forma industrial.

Figura 3. Edifício Business Service Center da Tereos Açúcar e Energia



Fonte: Antonio Macêdo Filho (2018).

5.4 Impactos Ambientais Causados pelas Estruturas de Aço

O aço é basicamente uma liga de ferro, de carbono e de outros elementos secundários como manganês, enxofre, silício e manganês. Em geral, pode conter de 0,008% a 2,11% em peso de carbono. O ferro, além de ser um dos elementos mais presentes na litosfera da Terra, é extraído da natureza sob a forma de minério de ferro.

O processo de obtenção do minério do ferro consiste na extração do minério, em regiões em que ele é abundante, e transporte, para passar pelo processo de tratamento e beneficiamento. Para isso, são necessárias imensas áreas, que além de causar impactos no ambiente, gera impacto econômico e social. O processo de beneficiamento, que passa pelos processos de britamento, classificação, moagem, concentração e aglomeração, é o que mais provoca resíduo.

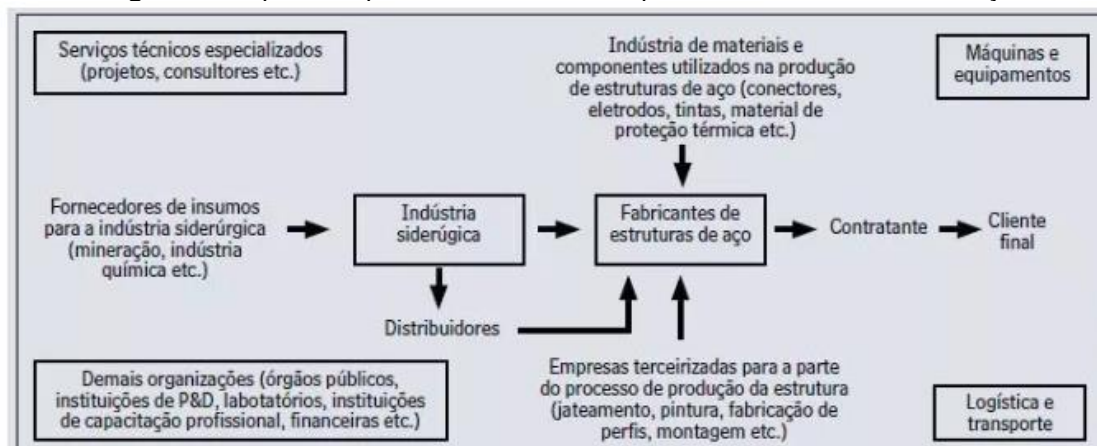
A água participa de praticamente todas as etapas da operação do minério de ferro e, a partir de técnicas como flotação, hidroclones e lavagem, é gerado a lama. No Brasil, geralmente, essa lama é depositada em reservatórios a céu aberto e é contida por barragens. A lama é responsável por causar alguns danos no solo, por deixá-lo saturado de silício e óxidos de ferro, e torná-lo infértil. A lama é depositada seca, no entanto, não se solidifica em sua totalidade, por isso apresenta um grande risco se não estiver bem estruturada. O rompimento da barragem em Mariana, em 2015, e em Brumadinho, em 2019, evidenciou os danos irreparáveis que o rompimento da barragem desses rejeitos é capaz de gerar.

A siderurgia é uma indústria muito intensiva, na questão dos materiais e da energia, sendo o setor que mais adquire o minério de ferro, chegando a 75% de toda a reserva que é extraída.

“Os aços são produzidos, atualmente, em duas rotas principais. A primeira, que corresponde a 60% da produção mundial, é denominada siderurgia integrada. Essa rota utiliza o alto-forno e o conversor na produção do aço. A outra rota, denominada siderurgia semi-integrada (ou siderurgia a forno elétrico a arco), produz cerca de 34% do aço mundial, e utiliza a sucata ferrosa como insumo básico. (SILVA; PANNONI, 2010,p.3)”

A Figura 4 indica os fabricantes de aço e a indústria siderúrgica como os protagonistas da cadeia produtiva das estruturas de aço.

Figura 4. Esquema representativo da cadeia produtiva das estruturas de aço

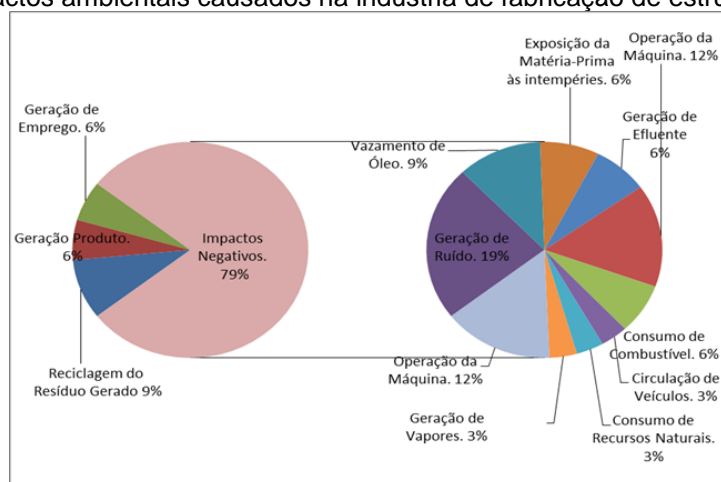


Fonte: Mingioni e Souza (2017).

Segundo o Relatório de Sustentabilidade da Indústria Brasileira de 2018, para cada tonelada de produção de aço bruto, 1,9 toneladas de CO₂ são emitidas.

Machado, Silva e Rizk (2014) fizeram um diagnóstico do impacto ambiental de uma indústria brasileira de fabricação de estruturas metálicas, em que foram levantados 33 impactos ambientais, resultando em 79% negativo e 21% positivo, a Figura 5 retrata o resumo do estudo.

Figura 5. Impactos ambientais causados na indústria de fabricação de estruturas metálicas



Fonte: Os autores

Conforme é possível visualizar na Figura 5, dentre os benefícios da indústria de fabricação de estruturas metálicas, destaca-se a reciclagem do resíduo gerado, que promove também a vantagem da redução do custo da empresa. Logo depois, fica empatado o aspecto da promoção de emprego e da geração de produtos para o mercado consumidor.

Neste estudo, os malefícios estão separados em desprezível, moderado e crítico. O principal malefício desprezível reside na geração de ruído, promovido pela operação das máquinas durante o transporte, seguido do vazamento de óleo, da exposição do aço às intempéries e geração do efluente gasoso. Já nos aspectos moderados, ressalta-se a operação das máquinas, o consumo de combustível, a geração de vapores, o consumo de recursos naturais e a circulação de veículos.

Já durante a execução das estruturas em aço, por serem industrializadas, acabam sendo executadas em um tempo mais enxuto e possuem um número menor de funcionários, quando comparadas às estruturas de concreto. Isso faz com que a quantidade de água consumida no canteiro de obras por parte dos operários seja inferior nas estruturas metálicas.

5.5 Impactos Ambientais Causados pelas Estruturas de Concreto Armado

O concreto é uma mistura de cimento, agregado e água. Conforme Hooton e Bickley (2014 apud BENTO, 2016), aproximadamente, para cada tonelada de cimento produzida, 1,0 tonelada de CO₂ é emitida para a atmosfera.

“A fabricação do cimento resulta na emissão de CO₂, contribuindo com aproximadamente 5% das emissões humanas globais, geradas pela reação química da calcinação do calcáreo e da combustão dos combustíveis fósseis utilizados no forno” (WBCSD, 2009 apud BENTO, 2016, p.34)

A Tabela 1, conforme Brasil (2014) mostra as emissões do dióxido de carbono, metano e óxido nitroso nos anos de 1990 a 2013 gerados no Brasil devido à produção de cimento, conforme as estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no país.

Tabela 1. Emissões de gases causadas pela produção do cimento

Ano	Emissão de Dióxido de Carbono (CO ₂)	Emissão de Metano (CH ₄)	Emissão de Óxido Nitroso (N ₂ O)
1990	5.601	3.03	0.12
1991	6.358	2.20	0.12
1992	4.974	1.81	0.09
1993	4.976	2.00	0.09
1994	4.908	2.26	0.09
1995	5.926	2.47	0.11
1996	7.041	3.17	0.13

1997	8.439	2.16	0.12
1998	9.174	1.87	0.11
1999	10.067	1.81	0.11
2000	10.463	2.13	0.12
2001	10.991	1.94	0.12
2002	10.227	1.88	0.11
2003	8.738	2.21	0.11
2004	7.872	2.55	0.11
2005	8.708	2.28	0.11
2006	9.462	2.41	0.12
2007	10.862	2.11	0.12
2008	12.054	2.36	0.14
2009	13.042	0.61	0.09
2010	14.203	0.91	0.13
2011	16.022	2.14	0.20
2012	16.816	2.29	0.21

Unidade: Gg (milhares de toneladas) – Fonte: Brasil (2014)

A maior parte, em massa, do concreto corresponde aos agregados. Segundo La Serna e Rezende (2013), a produção brasileira, em 2007, atingiu um total de 217 milhões de toneladas de rocha britada e 279 milhões de toneladas de areia, assim como afirmam que os impactos ambientais gerados pela mineração de agregados e o seu beneficiamento são a poluição sonora e do ar.

“A extração, processamento, e operações de transporte envolvendo estas grandes quantidades de agregados consomem consideráveis quantidades de energia e efeitos desfavoráveis ao ambiente de áreas florestais e leitos de rios são uma consequência imediata.” (MEHTA,2001 apud BENTO, 2016, p.41)

Como alternativa ao uso de agregados, na produção do concreto, há a utilização de resíduos decorrentes da demolição. No entanto, para o caso da utilização em estruturas, é necessário realizar estudos de capacidade de suporte.

Diferentemente das estruturas em aço, em que o sistema é conhecido como construção à seco, as estruturas de concreto consomem uma quantidade expressiva de água, tanto na fabricação do concreto, quanto na limpeza e na cura do concreto. “Para a confecção de um metro cúbico de concreto, gasta-se em média de 160 a 200 litros de água” (NETO, 2012). O consumo de água utilizada no concreto varia, de acordo com o traço do concreto, que leva em conta o fator a/c (água x cimento). Em se tratando de consumo de água nas estruturas de concreto, destaca-se, também a lavagem dos caminhões betoneira.

Conforme os estudos de Repette (2005,p.?), “é possível estimar a geração de resíduos provenientes do processo de lavagem dos caminhões de betoneira – fração sólida – adotando um volume de 100 litros de resíduo a cada 8m³ de concreto, chega-se a um volume previsto de 903,75 mil m³ para o ano de 2017.” (apud Scremim, Mymrin, Galvão e Dea Junior, 2017, p.1)

Esse procedimento de lavagem interna do caminhão betoneira corresponde ao consumo de 500 a 900 litros de água, que é feito, ao menos, uma vez por dia por cada caminhão de produção de concreto. (GUSMÃO,2011)

Além dos materiais do concreto, é válido salientar o uso de fôrmas, que geralmente são de madeira. Muitas vezes, o projetista estrutural quer otimizar o seu projeto, acreditando que quanto menor o quantitativo de concreto, de aço e de fôrmas, mais econômico será o seu projeto. No entanto, nem sempre a menor quantidade total de material resultará em maior eficiência, levando em conta que poderá existir desperdício de tempo de execução se não houver modulação, assim como geração de resíduos.

Acrescenta-se ainda o consumo de quantidades de energia nas operações de fabricação do concreto, que envolve operações de mistura, transporte, lançamento, adensamento e a cura.

5.6 Reutilização

No processo de reutilização, não há a modificação física do produto, conforme Castro (2012), “a reutilização implica a utilização dos elementos sem qualquer necessidade de alteração dos mesmos, assumindo assim as mesmas funções que assumiam anteriormente. Este método promove assim a redução de emissões e desperdícios”.

Fakury, Silva e Caldas (2016) destacam que as estruturas metálicas possuem o atributo do reaproveitamento, pois podem ser desmontadas e reutilizadas, quando suas ligações são parafusadas.

As estruturas de concreto armado moldadas *in loco* não são reutilizadas de forma íntegra ao final da sua vida útil, pois além do processo de realocação ou demolição comprometer suas propriedades, seria extremamente difícil e custoso a realização desse processo. Essas podem ser reforçadas ou demolidas ou, ainda, recicladas e modificadas em novos produtos.

5.7 Reciclagem

A reciclagem consiste na transformação de um produto antigo em um novo produto, que utiliza o produto original como matéria-prima no processo de fabricação do novo. No caso dos materiais em aço, a reciclagem pode gerar materiais de mesma qualidade. Já no caso do concreto, o material reciclado não possui as mesmas características dos produtos originais, acarretando peças com novas funções, como exemplo o concreto estrutural reciclado em enchimento de pavimentos (CASTRO, 2012).

Durante o processo de reciclagem, há a possibilidade de causar impactos no meio ambiente, pois há o consumo de energia e a emissão de gases para a produção do elemento, no entanto, existe o benefício da destinação física que o material ocupa no espaço, proporcionando a redução da utilização de novos recursos.

Um dos motivos das estruturas em aço serem alçadas como amigas do meio ambiente é a sua capacidade de reciclagem. Para cada tonelada de aço reciclado, há uma economia de 1,25 toneladas de minério de ferro, 630 kg de carvão e 54 kg de calcário (SPOT, 2002 apud GERVÁSIO, 20-?):

“O aço está entre os materiais mais recicláveis e reciclados do mundo. Os elementos estruturais ou qualquer produto de aço, ao final da vida útil, ou simplesmente quando, por qualquer razão, perdem sua finalidade, são transformados em sucata, que, por sua vez, pode ser empregada na fabricação de novos produtos siderúrgicos. A produção de aço a partir da sucata reduz o consumo de matérias-primas não renováveis, economiza energia e evita a ocupação de áreas para o descarte de produtos obsoletos.”
(FAKURY; SILVA; CALDAS, 2016, p.6).

Conforme Siebers et al (2012), citado por Castro (2012,p.44), “atualmente, os elementos em aço têm uma taxa de recuperação de 99%, sendo que em média 11% são reutilizados com a mesma função estrutural e 88% são usados para reciclagem”.

Para a produção de cimento, pode-se utilizar como agregados reciclados, materiais pozolânicos, como a cinza volante ou a sílica ativa, que são um dos subprodutos do ferro e aço. Esse processo garante uma redução no consumo energético da ordem de 80% e isso se deve ao fato de não ser necessária a calcinação da matéria-prima durante a produção de cimento somada a incorporação de grandes quantidades de energia desses materiais.

A reciclagem do concreto fresco pode ser feita através da utilização de um aditivo estabilizador que atua reduzindo a velocidade de hidratação do concreto e a outra é pode ser feita por meio de equipamentos que fazem uma lavagem forçada do material, separando o cimento dos agregados. Há ainda a reciclagem do concreto endurecido realizada com britador desenvolvido justamente para essa função.

6. CONCLUSÃO

Apesar do conceito de construção sustentável ser embrionário na história, esse tema é urgente, pois temos apenas um planeta com possibilidade de habitação e é necessário cuidar dele para garantir a sobrevivência das gerações futuras. Esse estudo teve o objetivo de trazer à tona a consciência de que as fontes da natureza não são inesgotáveis e, como a construção civil é o setor protagonista que mais causa impacto ambiental, foram apontados os fatores que contribuem para a escolha de elementos e sistemas estruturais mais sustentáveis.

Atualmente, a adoção do tipo de sistema estrutural das edificações leva em conta muitos outros aspectos, antes de passar pela sustentabilidade. Isso é o reflexo de uma cultura que não credita o devido valor à importância da escolha do sistema estrutural e à harmonia entre os aspectos ambientais, econômicos e sociais, o qual, muitas vezes, impera o econômico. Pode-se observar pela grade curricular das universidades, que pouco aborda esse assunto da sustentabilidade.

A avaliação do ciclo de vida e as certificações ambientais são mecanismos que auxiliam na análise dos impactos gerados pelo setor da construção civil e, podem refletir em indicadores de sustentabilidade nas edificações.

Apesar das estruturas metálicas serem consideradas amigas do meio ambiente, por possuírem um alto potencial de reciclagem, de reaproveitamento e de industrialização, que reflete em maior qualidade dos materiais, o processo de extração do ferro é muito devastador.

Cada projeto tem uma particularidade e a escolha de um sistema estrutural depende de muitos aspectos, é necessário analisar caso a caso. Deve-se atentar aos materiais utilizados, adotar produtos de qualidade, que garantam uma durabilidade adequada para atender à vida útil das estruturas, visto que essa está diretamente relacionada com a sustentabilidade. Assim, como a otimização do projeto, utilizando ferramentas que reduzam o desperdício.

7. REFERÊNCIAS

BENTO, Ricardo Couceiro. Análise do desempenho ambiental de estruturas de concreto armado: Uso da avaliação do ciclo de vida (ACV) no processo decisório do dimensionamento. 2016. 2016 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências da Arquitetura e Urbanismo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, São Carlos, 2016.

BRASIL. Ministérios da Ciência, Tecnologia e Inovação. Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil. 2014. Disponível em: http://sirene.mctic.gov.br/portal/export/sites/sirene/backend/galeria/arquivos/2018/10/11/Estimativas_2ed.pdf. Acesso em: 12 ago. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Construção Sustentável. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel.html>. Acesso em: 12 mar. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Construções Sustentáveis. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/areas-verdes-urbanas/item/10317-eixos-tem%C3%A1ticos-constru%C3%A7%C3%B5es-sustent%C3%A1veis.html>. Acesso em: 10 mar. 2019.

BRASIL. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Relatório Especial. 2018. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/sr15/>. Acesso em: 10 mar. 2019.

CASTRO, Rita Roma Torres Leite de. Análise da Sustentabilidade de Estruturas: Aço vs Betão: Estudo de processos de apoio ao projeto de edificação na escolha do tipo e material da estrutura, com base na Construção Sustentável. 2012. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Construção e Reabilitação Sustentáveis, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2012.

Confederação Nacional da Indústria. Construção Sustentável: a mudança em curso / Confederação Nacional da Indústria, Câmara Brasileira da Indústria da Construção – Brasília : CNI, 2017.

CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 55., 2013, Gramado. Análise do desempenho ambiental de estruturas de concreto armado: Uso da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). São Carlos: Ibracon, 2013. 16 p.

CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL: A Mudança em Curso. Brasília: Cbic e Cni, 2017. Disponível em: <http://www.cbic.org.br/sustentabilidade/wp-content/uploads/sites/22/2017/10/Caderno-Setorial-CBIC-CNI-Sustentabilidade.pdf>. Acesso em: 10 set. 2019.

FAKURY, Ricardo Hallal; SILVA, Ana Lydia Reis de Castro e; CALDAS, Rodrigo Barreto. Dimensionamento de Elementos Estruturais de Aço e Mistos de Aço e Concreto. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

FUNDAÇÃO VANZOLINI (Org.). Referencial Técnico de Certificação: Edifícios Habitacionais - Processo AQUA. 2. ed. São Paulo, 2013.

GERVÁSIO, Helena Maria. A Sustentabilidade do Aço e das Estruturas Metálicas. 20-?.

GUSMÃO.A.C. Estudo do reaproveitamento de água de lavagem dos caminhões betoneira: Pedreira Um Valemix. Belo Horizonte, xpx., 2011. Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. O que é Avaliação do Ciclo de Vida. Disponível em: <<https://www.acv.ibict.br/acv-o-que-e-o-acv/>>. Acesso em: 17 mar. 2019.

INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 4., 2013, São Paulo. Avaliação do Ciclo de Vida de Estruturas Metálicas. São Paulo: Academic Work, 2013. 10p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007a. Climate Change 2007: Synthesis Report. Cambridge University Press, Cambridge. 133p.

LASERNA, Humberto Almeida de; REZENDE, Márcio Marques – Agregados para a Construção Civil. 2013. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/8-1-2013-agregados-minerais>. Acesso em: 22 set. 2019.

MACHADO, Camila Stheffani Oliveira; SILVA, Nagiélle Muara e; RIZK, Maria Cristina. Aspectos e Impactos Ambientais de uma indústria de fabricação de estruturas metálicas. IX Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. Porto Alegre, 2014.

MATOS, Bruna Farhat de Castro. Construção sustentável: panorama nacional da certificação ambiental. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído) — Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, MG, 2014.

MINGIONE, Caio Marranghello e; SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes. O uso de estruturas de aço para edifícios de múltiplos pavimentos no Brasil. Revista Técnica, São Paulo, v.1, 2017.

NETO, Antônio Filho; Água como Material de Construção. Cuiabá. Disponível em <http://www.creamt.org.br/portal/agua-como-material-de-construcao>. Acesso em 15 de outubro de 2019.

OLIVEIRA, Flávia Ruschi Mendes de. Integração de Indicadores de Desempenho Técnico-Funcional, Ambiental e Econômico de Sistemas Estruturais Verticais em Concreto. 2013. 193 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

OLIVEIRA, Vivian Moreno de. Sistemas de Certificação Ambiental e a Norma Brasileira de Desempenho. 2014. 220 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ambiente Construído, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Declaração de Estocolmo sobre o Meio Ambiente Humano. In: Anais Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano, Estocolmo, 6p., 1972.

PESSARELLO, Regiane Grigoli. Estudo exploratório quanto ao consumo de água na produção de obras de edifícios: avaliação e fatores influenciadores. 2008. 111 f. Monografia (MBA em Tecnologia e Gestão Na Produção De edifícios) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

POSSAN, Edna e; DEMOLINER, Carlos Alberto. Desempenho, Durabilidade e Vida Útil das Edificações: Abordagem Geral. Revista Técnico-Científica do CREA-PR, Curitiba, 2013.

RELATÓRIO DE SUSTENTABILIDADE. Relatório de sustentabilidade da indústria brasileira do aço. Instituto Aço Brasil, 1987.

SCREMIM, Cristofer Bernardi; MYMRIN, Vsévolod; GALVÃO, Sabrina Ligiane; DEA JUNIOR, José. Reciclagem de resíduos da produção de concreto em aplicação estrutural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 7, 2017, Ponta Grossa. Reciclagem de resíduos da produção de concreto em aplicação estrutural. Ponta Grossa: Aprepro, 2017. p. 1-9.

SILVA, Valdir Pignatta e; PANNONI, Fabio Domingos. Estruturas de aço para edifícios: Aspectos tecnológicos e de concepção. São Paulo: Blucher, 2010.

SILVA, Valéria Rossi Rodrigues da. A evolução do conceito sustentabilidade e a repercussão na mídia impressa do país. 2012. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Comunicação e Semiótica, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2012.

SJÖSTRÖM, C. Durability of Building Materials and Components. In: CIB Symposium on Construction and Environment: theory into practice. 23-24 de Novembro de 2000. São Paulo, 2000. TORRALBA, Fernando Pacheco; JALALI, Said. A sustentabilidade dos materiais de construção. Vila Verde: Tecminho, 2010.

VANZOLINI, Fundação. Parque Ecológico recebe certificação AQUA-HQE. Disponível em: <<https://vanzolini.org.br/aqua/2017/03/15/parque-ecologico-recebe-certificacao-aqua-hqe/>>. Acesso em: 14 mar. 2019.