XII SIBRAGEC
SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO
MACEIÓ - AL

METODOLOGIA QUANTITATIVA DE AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS EM INFRAESTRUTURAS[1]

ARAÚJO, Adolpho Guido de (1); CARNEIRO, Arnaldo Manoel Pereira (2); PALHA, Rachel Perez (3)

(1) Universidade Federal de Pernambuco, adolphoguido@hotmail.com, (2) Universidade Federal de Pernambuco, arnaldo.carneiro@ufpe.br, (3) Universidade Federal de Pernambuco, rachel.palha@ufpe.br

RESUMO

O interesse em sustentabilidade na indústria da construção surgiu durante os anos noventa, e os estudos evoluíram até os dias atuais para modelos de previsão dos aspectos ambientais. Frequentemente, as pesquisas quantitativas de avaliação ambiental abordam a gravidade dos aspectos ambientais através de percepção de especialistas. Neste artigo é proposta uma metodologia aplicável às atividades de infraestrutura urbana para quantificação dos aspectos ambientais através dos critérios de duração e gravidade, utilizando cálculos fundamentados pela literatura científica. Esta foi utilizada para o cálculo de dez aspectos ambientais para seis atividades construtivas com base nos critérios duração e gravidade, eliminando o julgamento do critério gravidade das metodologias anteriores em um projeto real. Os resultados obtidos para este projeto revelaram cinco aspectos ambientais significativos: emissões de gases do efeito estufa, uso de energia, poluição sonora, poluição das águas e poluição do solo, devido a tipologia de construção adotada que demanda uma grande quantidade de equipamento impactam a atmosfera, o solo e a água. Esta é uma forma nova de avaliar os projetos urbanísticos de maneira objetiva com base em metodologia que permite quantificar os aspectos ambientais ainda na fase pré-construção, quando os projetos podem ser beneficiados pela engenharia de valor.

Palavras-chave: *Desenvolvimento urbano, Construção civil, Métodos quantitativos, Gestão ambiental.*

ABSTRACT

The interest in sustainability in the construction industry arose in the 1990s, and current studies have created models to predict environmental aspects. Often, quantitative researches of environmental assessment address the severity of environmental aspects through the perception of specialists. This article proposes a methodology applicable to urban infrastructures activities in order to quantify environmental aspects by applying duration and severity criteria, using calculations founded in the scientific literature. This was used for the calculation of ten aspects for six construction activities based on duration and severity criteria, eliminating the judgement of the latter criterion of earlier methodologies on a real project. The results for this project revealed five significant environmental aspects: greenhouse gas emissions, energy use, noise pollution, water pollution and soil pollution, due to the type of adopted construction, which requires a large amount of equipment that and impact the atmosphere, soil and water. This is a new way to evaluate the urban projects objectively assessed based on a methodology that allows quantifying environmental aspects still in the pre-construction phase, when the projects can benefit from value engineering.

Keywords: *Urban development, Construction industry, Quantitative methods, Environmental management.*

ARAÚJO, A. G. de; CARNEIRO, A. M. P.; PALHA, R. P. Metodologia quantitativa de avaliação dos aspectos ambientais em infraestruturas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 12., 2021, Maceió. **Anais[...]** Porto Alegre: ANTAC, 2021. p.1-8. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/sibragec/article/view/431. Acesso em: 2 out. 2021.

1 INTRODUÇÃO

A urbanização está relacionada a três dimensões do desenvolvimento sustentável: econômica, social e ambiental (UN-WUP, 2018). Durante os processos de desenvolvimento urbano mundiais, os recursos naturais foram amplamente utilizados (KRAJANGSRI; PONGPENG, 2017), devido ao crescimento das cidades com aumento das demandas por habitações, construções e reformas de edificações gerando impactos ambientais (BORJA et al., 2018). No entanto, uma série de medidas de proteção ao meio ambiente (sistemas de certificações, metodologias de avaliações e normas de gestão ambiental) foram propostas ao longo dos anos para mitigar os impactos adversos durante as atividades construtivas (GANGOLELLS et al., 2009).

As metodologias preditivas forneceram estratégias para auxiliar o setor da construção na incorporação de práticas de gestão para o controle dos impactos ambientais nos canteiros de obra (BORJA et al., 2018). Portanto, os gerentes de projetos de construções puderam reorganizar e revisar os planos e cronogramas de construções, a fim de reduzir o nível de poluição e perturbação (CHEN; LI; WONG, 2000)**.** No entanto, uma revisão sistemática na base de dados da *Web of Science* identificou apenas 2,54% de publicações que propuseram métodos quantitativos de avaliações ambientais (ARAÚJO; CARNEIRO; PALHA, 2020a). A presente pesquisa pretende somar aos estudos desenvolvidos e aos em desenvolvimentos, ainda não publicados, uma vez que o cuidado com meio ambiente faz parte integral da agenda 21 para o desenvolvimento sustentável.

Este artigo teve como objetivo a proposição de uma metodologia quantitativa para avaliação dos aspectos ambientais em projetos de infraestrutura urbana na fase pré-construção através da utilização de critérios objetivos, tais como: duração e gravidade, dos quais seis atividades construtivas e dez aspectos ambientais foram avaliados. Por conseguinte, este artigo está estruturado em cinco seções. Uma introdução Na seção 2, apresenta-se detalhadamente o modelo metodológico. A seção 3 são os resultados com validação do modelo; 4 e 5 foram reservadas pelos autores para as apresentações da discussão e conclusões, respectivamente.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Um estudo de caso foi utilizado para desenvolvimento de um modelo matricial com dois critérios ambientais - gravidade e duração - para análise de dez aspectos externalizados por seis atividades construtivas de infraestrutura urbana. Para definição dos valores de alguns aspectos ambientais do critério gravidade, foram utilizadas fórmulas validadas na literatura científica; e para definição dos valores da duração, utilizou-se os dias das atividades do cronograma da obra.

O arcabouço metodológico foi composto por quatro fases: análise prévia, identificação e avaliação dos aspectos ambientais e exemplo numérico baseado em um caso real. Na análise prévia, houve definição das atividades construtivas e dos aspectos ambientais. Para a identificação dos aspectos ambientais deste estudo, as fontes geradoras (atividades construtivas) foram analisadas em suas composições de serviços. Na avaliação dos aspectos ambientais, através do modelo matricial, os dois critérios gravidade e duração foram calculados respectivamente para os dez aspectos e para as seis atividades construtivas; e convertidos numa escala de intervalo de cinco pontos para possibilitar a operação matricial. A quarta fase destinou-se a aplicação do exemplo numérico baseado em um caso real afim de aplicar a metodologia preditiva.

2.1 Análise prévia

As publicações na área de gestão da construção e sustentabilidade foram investigadas para identificar quais as atividades e/ou processos construtivos e aspectos ambientais

foram considerados anteriormente, e por conseguinte, suas relações atuais com a especificidade desta proposta.

2.1.1 Atividades e/ou processos construtivos

As atividades e/ou processos construtivos foram avaliados e eleitos baseado na literatura científica e no caso real. Foi elaborada uma Estrutura Analítica de Projetos (EAP), com base nos resultados da fase análise prévia e foram definidos as atividades e/ou processos construtivos da EAP: topografia; limpeza do terreno; terraplenagem; sistema de drenagem pluvial; sistema de abastecimentos de água; sistema de esgoto; sistema de energia elétrica; pavimentação; meio fio; paisagismo e construção de praças.

2.1.2 Aspectos ambientais

A partir da discussão das categorias identificadas na revisão da literatura publicada em ARAÚJO; CARNEIRO; PALHA (2020a) foram relacionados os seguintes aspectos ambientais: I1-Emissões para o Ar, I2-Lançamentos para Água, I3-Lançamentos para o Solo, I4-Uso de Recursos e Matéria-prima, I5-Resíduos, I6-Uso de Energia, I7-Emissões Sonoras, I8-Energia Emitida, I9-Efeitos na Biodiversidade, I10-Questões Ambientais Locais/da Comunidade, I11-Emissões Perigosas, I12-Acidentes/Incidentes, I13-Impactos Arqueológicos. Os autores desta pesquisa adotaram aspectos ambientais quantificáveis e com ocorrência no caso real utilizado. Os dez aspectos ambientais foram selecionados com base no índice de importância relativa (IIR) desenvolvido na pesquisa de ARAÚJO; CARNEIRO; PALHA (2020b) e não haveria tempo para estudar outros aspectos também importantes para a indústria da construção. Logo, os dez aspectos ambientais adotados foram: I1-2-Emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), I1-3-Partículas Totais em Suspensão (PTS); I2-1-Poluição das Águas (PA), I2-2-Uso da Água (UA) e I3-1-Alteração do Solo (AS), I3-2-Poluição do Solo (PSOLO), I4-1-Uso de Recursos e Materia-prima (URMP), I5-1-Resíduos (RCD), I6-1-Uso de Energia (UE) e I7-1-Poluição Sonora (PS).

2.2 Identificação dos aspectos ambientais

A identificação dos aspectos ambientais foi realizada. A fonte geradora foi identificada (atividade construtiva) pelos documentos do projeto, posteriormente associou-se os materiais empregados e equipamentos/ferramentas (composições de orçamento e procedimentos operacionais das empresas) para apontamento das causas, bem como o desenvolvimento das tarefas que descreveram “o fazer” e “mão de obra” empregada (procedimentos operacionais das empresas) que demonstrou a forma de execução. Em seguinda, iniciou-se uma fase crítica de reconhecimento das externalidades. E finalmente, registraram-se os aspectos ambientais provenientes das externalidades para cada atividade.

2.3 Avaliação dos aspectos ambientais significativos

2.3.1 Critérios ambientais

Os critérios ambientais embasaram os modelos de cálculos para quantificação matemática dos aspectos ambientais. A significância foi um conceito relativo, não foi definido em termos absolutos e sua avaliação envolveu aplicação tanto de análise técnica quanto de julgamento (ISO 14004, 2007). A gravidade e duração são critérios ambientais com informações presentes desde a fase de iniciação até planejamento na etapa de pré-construção. Sendo suas informações mais precisas no final da fase de planejamento, onde cronograma e orçamentos apresentam dados mais fidedignos.

2.3.2 Cálculo dos critérios ambientais

O cálculo do nível de impacto ambiental do projeto foi quantificado através das multiplicação das matrizes "A" e "B", onde os resultados dos critérios ambientais convertidos em escala de intervalos de cinco pontos puderam realizar a operação matricial. O cálculo da escala foi determinada pela faixa de frequência, calculada pelo maior escore, menos o menor escore e seu resultado divido por cinco. O intervalo "1" foi indicado pelo menor valor, os demais intervalos foram as somas do escore anterior somado da faixa de frequência determinada. E o intervalor "5" foi indicador pelos valores maiores do limite superior do intervalo "4", de acordo equação (1).

$$FI = \frac{\mathrm{MA\,V} - \mathrm{ME\,V}}{5} \;\; ; \; Logo: FI \; somado \; a \; partir \; do \; menor \; valor \tag{1}$$

Onde:

- FI: Faixa de Intervalo;
- MAV: Maior Valor;
- MEV: Menor Valor.

Desenvolveu-se uma fórmula para calculo dos aspectos ambientais do projeto através de dois critérios ambientais quantificáveis: duração e gravidade, e aplicá-los no caso real de obra de infraestrutura urbana deste trabalho. Para os cálculos de "*Duração"* utilizou-se as informações precisas de prazo no documento do cronograma; e para os cálculos da *"Gravidade",* adotou-se as informações de quantidade nos documentos: projetos, orçamentos e planejamentos. E através de operações matriciais determinaram as quantificações totais dos aspectos ambientais para caso real utilizado, conforme equação matricial (2).

$$\begin{pmatrix} \cdots \\ \vdots \quad \boldsymbol{MATRIZ}\text{ "A"1x6} \quad \vdots \\ Linha: Duração \\ Colunas: Atividades \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cdots \\ \vdots \quad \boldsymbol{MATRIZ}\text{ "B"6x10} \quad \vdots \\ Linha: Atividades \\ Colunas: Aspectos \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cdots \\ \vdots \quad \boldsymbol{MATRIZ}\text{ "C"1x10} \quad \vdots \\ Linha: Total \\ Colunas: Aspectos \\ \cdots \end{bmatrix} \tag{2}$$

Onde:

MATRIZ "A": Matriz da duração das atividades diante do cronograma previsto;

MATRIZ "B": Matriz da gravidade, onde foram calculados todos os aspectos ambientais preditivos por atividade construtiva. Levando em consideração suas quantidades;

MATRIZ "C": Quantificação Total dos Aspectos Ambientais.

2.3.3 Cálculo da duração das atividades construtivas

Os valores foram obtidos no cronograma em dias úteis para seis atividades construtivas. Essa duração em um longo período impactaram o ambiente natural e/ou pessoas, para ilustrar: uso de equipamentos por períodos prolongados potencializaram as poluição sonora (PS), emissões de gases do efeito estufa (GEE) e partículas totais em suspensão (PTS).

2.3.4 Gravidade dos aspectos ambientais

Todas as seis atividades construtivas obtiveram resultados de gravidade relacionados aos dez aspectos ambientais com base em pesquisa pregressas, conforme demonstrado no Quadro 01.

Quadro 01. Base científica para os cálculos dos aspectos ambientais.

Aspectos Ambientais	Publicações utilizadas para as quantificações
PTS	(JUNG et al., 2019)
GEE	(YIM et al., 2018)
PS	(HARON; YAHYA; JAHYA, 2012)
AS	(ARAÚJO; CARNEIRO; PALHA, 2020b)
PSOLO	(ARAÚJO; CARNEIRO; PALHA, 2020b; EIKELBOOM; RUWIEL; GOUMANS, 2001)
PA	(ARAÚJO; CARNEIRO; PALHA, 2020b; BELAYUTHAM; GONZÁLEZ; YIU, 2016)
URMP	(THOMAS et al., 2017)
RCD	(LI et al., 2016)
UA	(ARAÚJO; CARNEIRO; PALHA, 2020b; SOUZA; FILHO; NETO, 2015; TRELOAR, 1997)
UE	(PAULSEN; SPOSTO, 2013)

Fonte: OS AUTORES.

2.4 Caso real

A seleção do projeto de desenvolvimento urbano foi aleatória e os dados necessários para pesquisa foram disponibilizados por uma empresa aos pesquisadores. Foi constatada uma dificuldade na obtenção dos dados, mesmo que utilizados de forma confidencial. O projeto utilizado foi um loteamento urbano com área total de 300.000,00 m², área total de lotes de 174.236,64 m², área verde de 71.945,34 m² e área do sistema viário de 53.818,02 m², composto de 847 lotes. Um projeto de desenvolvimento urbano foi disponibilizado como caso real - projeto de urbanização popular, localizado no Brasil, região nordeste pertencente ao estado de Alagoas e inserido na cidade de Santana do Ipanema com a seguinte coordenada geográfica 9º 23’ 12’’ S e 37º 14’ 33’’.

3 RESULTADOS

3.1 Duração das atividades construtivas

Para construção da Matriz A, o cálculo da escala foi determinada pela faixa de frequência, calculada pela maior duração com 600 dias, menos o menor duração com 120 dias e seu resultado divido por cinco, resultando em 96 dias. O intervalo “1” foi indicado pela atividade de menor duração com 120 dias, os demais intervalos foram as somas do escore anterior somado da faixa de frequência determinada. Os intervalos das escalas foram: intervalo “1” onde as atividades foram curtas (duração<120 dias); intervalo “2” onde as atividades (120<duração<216); intervalo “3” onde as atividades (216<duração<312); intervalo “4” onde as atividades (312<duração<408) e intervalo “5” onde as atividades (duração>408).

3.2 Gravidade dos aspectos ambientais

Os resultados do caso real para critério gravidade apontaram os aspectos ambientais mais significativos entre as atividades desenvolvidas no projeto. Quadro 2 apresenta os resultados das quantificações do critério gravidade dos aspectos ambientais das atividades construtivas do caso real. As descrições dos serviços utilizaram as seguintes unidades medidas: terraplenagem em metro cúbico (m³) de solo; drenagem pluvial em metro linear (m) de tubulação; abastecimento de água em metro linear (m) de tubulação; energia elétrica em unidade (unid) de poste utilizado na obra; pavimentação em metro quadrado (m²) de área pavimentada e meio fio em metro linear (m) de assentamento.

Quadro 2. Cálculo das Gravidades dos Aspectos Ambientais.

DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	QTD	PTS (g)	GEE ($KgCO_2e$)	PS (dB)	AS (%)	PSOLO (mg/m^2)
TERRAPLENAGEM (m^3)	**300.000,00**	3.092.263,15	279.157,83	70,86	23,98	0
DRENAGEM PLUVIAL (m)	**6.698,00**	53.846,90	384.395,35	61,46	23,98	718,03
ABASTECIMENTO DE ÁGUA (m)	**6.698,00**	5.083,54	17.477,43	61,46	23,98	0
ENERGIA ELÉTRICA (unid)	**222**	1.487,95	59.801,02	61,83	23,98	0
PAVIMENTAÇÃO (m^2)	**53.243,18**	262.144,07	143.261,11	54,06	23,98	0
MEIO FIO (m)	**13.590,00**	23.640,40	372.501,98	51,05	23,98	695,81
DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	**QTD**	**PA (%)**	**URMP (impacto)**	**RCD (t)**	**UA (litros)**	**UE (Mj)**
TERRAPLENAGEM (m^3)	**300.000,00**	3,59	0	69.677,15	161.454,06	3.241.499,60
DRENAGEM PLUVIAL (m)	**6.698,00**	0,067	$7{,}147 \times 10^{-9}$	30,96	112.191,25	3.327.247,19
ABASTECIMENTO DE ÁGUA (m)	**6.698,00**	0,179	$5{,}345 \times 10^{-10}$	0,18	0	661.203,93
ENERGIA ELÉTRICA (unid)	**222**	0	$4{,}759 \times 10^{-10}$	0	17.57,.00	543.881,90
PAVIMENTAÇÃO (m^2)	**53.243,18**	3,59	$5{,}491 \times 10^{-7}$	816,28	632.684,42	687.586,83
MEIO FIO (m)	**13.590,00**	0,272	$6{,}926 \times 10^{-9}$	30,01	108.720,00	3.224.118,26

Fonte: OS AUTORES.

Os cálculos das escalas utilizadas na Matriz B foram determinadas, também pelas faixas de frequências para cada aspecto ambiental, calculada pelo maior escore, menos o menor escore e seu resultado divido por cinco. Cálculo da matriz do nível de impacto ambiental do projeto. A Matriz "A" representa o critério de duração, utilizou-se o valores dos prazos das atividades do cronograma da empresa. A Matriz "B" representa o critério gravidade, onde cada aspecto ambiental foi calculado para as seis atividades, utilizando métodos específicos e obtidos a partir dos dados de entrada das quantidades estabelecidas no orçamento e no projeto. Posteriormente, os resultados foram convertidos numa escala de cinco pontos, onde: 1-pouco grave; 2-razoavelmente grave; 3-grave; 4-muito grave; 5-extremamente grave. A Matriz "C" apresenta os resultados da multiplicação das Matrizes A e B que expressam a pontuação total de cada aspecto ambiental, conforme equação matricial (3).

$$\underset{\text{MATRIZ "A"}}{(2 \quad 1 \quad 2 \quad 2 \quad 5 \quad 5)} * \underset{\text{MATRIZ "B"}}{\begin{pmatrix} 5 & 5 & 5 & 2 & 1 & 5 & 1 & 5 & 2 & 5 \\ 2 & 5 & 4 & 2 & 5 & 1 & 1 & 1 & 1 & 5 \\ 2 & 1 & 4 & 2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 4 & 2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 3 & 2 & 2 & 1 & 5 & 5 & 1 & 5 & 2 \\ 2 & 5 & 1 & 2 & 5 & 1 & 1 & 1 & 1 & 5 \end{pmatrix}} = \underset{\text{MATRIZ "C"}}{\begin{pmatrix} PTS & GEE & PS & AS & PSOLO & PA & URMP & RCD & UA & UE \\ 38 & 61 & 45 & 34 & 41 & 45 & 37 & 25 & 39 & 56 \end{pmatrix}} \quad (3)$$

O aspecto de maior impacto ambiental foi GEE que totalizou 61 pontos, seguido do UE com 56 pontos. Ainda obtiveram grandes scores PA com 45 pontos; PS com 45 pontos; PSOLO com 41 pontos; UA com 39 pontos; PTS com 38 pontos; URMP com 37 pontos; AS com 34 pontos e RCD com 25 pontos.

4 DISCUSSÃO

Diante da importância do período de incômodo e/ou exposição ao ambiente natural e às pessoas, o critério duração foi eleito, e também foi quantificado utilizando o período total da atividade de construção em dias. Corroborando com CHEN; LI; WONG (2000) que aplicaram a duração para quantificar a poluição e os riscos gerados por um projeto de construção dentro do período de realização da obra. Como também (GANGOLELLS et al., 2009) que calcularam a duração de um impacto ambiental em relação a duração da fase de construção. Anteriormente, o critério de gravidade era avaliado levando em consideração percepções de especialistas através da aplicação de escalas likert. De forma inovadora, nesta pesquisa o critério de gravidade foi calculado para dez aspectos ambientais em seis atividades construtivas de infraestrutura urbana, utilizando fórmulas aplicáveis especificamente a cada aspecto ambiental, eliminando assim a subjetividade do julgamento. Por último, a atividade de terraplenagem obteve na matriz B (gravidade) seis aspectos ambientais com escala máxima de impacto descrito na linha 1. E também, ficou evidenciado na matriz B (gravidade) que o aspecto ambiental meio fio (última coluna) apresentou três atividades com escala máxima de impacto, devido ao uso do concreto.

5 CONCLUSÃO

É proposta uma metodologia aplicável às atividades de infraestruturas urbanas e os critérios de gravidade são calculados considerando métodos proposto na literatura científica. O aspecto ambiental de maior impacto foi Emissões de Gases do Efeito Estufa que totalizou 61 pontos. Entre as seis atividades construtivas avaliadas pelo critério gravidade, três - Terraplenagem, Sistema de drenagem pluvial e Meio fio - obtiveram escore máximo na escala de intervalo. E o caso real apresentou as atividades construtivas pavimentação e meio fio com maiores durações no cronograma promovendo uma alta Emissão de Gases do Efeito Estufa por um longo período de tempo. A indústria da construção, especificamente construção de infraestrutura urbana, precisa ter um melhor desempenho ambiental para produzir ambientes construídos mais sustentáveis. Existem limitações de estudos e ferramentas para quantificar previamente os aspectos ambientais, bem como de pesquisas voltadas ao desenvolvimento de modelos causais dos aspectos ambientais, visando melhorar a compreensão dos impactos ambientais causados pela indústria da construção. Este artigo possibilitou uma visão direta dos aspectos ambientais importantes para especificações melhores de materiais, racionalização de processos construtivos e substituição de atividades potencialmente impactantes.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. G. de; CARNEIRO, A. M. P.; PALHA, R. P. Sustainable construction management: A systematic review of the literature with meta-analysis. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 256, p. 120350, 2020. a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120350>

ARAÚJO, A. G. de; CARNEIRO, A. M. P.; PALHA, R. P. Predictive methodology for the quantification of environmental aspects in urban infrastructures. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 12, n. 18, p. 1–25, 2020. b.

BELAYUTHAM, S.; GONZÁLEZ, V. A.; YIU, T. W. A cleaner production-pollution prevention based framework for construction site induced water pollution. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 135, p. 1363–1378, 2016.

BORJA, L. C. A. *et al*. A quantitative method for prediction of environmental aspects in construction sites of residential buildings. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 10, n. 6, p. 1–38, 2018.

CHEN, Z.; LI, H.; WONG, C. T. C. Environmental management of urban construction projects in China. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], v. 126, n. August, p. 320–324, 2000.

EIKELBOOM, R. T.; RUWIEL, E.; GOUMANS, J. J. J. M. The building materials decree: an example of a dutch regulation based on the potential impact of materials on the environment. **Waste Management Series**, [s. l.], v. 1, n. C, p. 963–974, 2001.

GANGOLELLS, M. *et al*. A methodology for predicting the severity of environmental impacts related to the construction process of residential buildings. **Building and Environment**, [s. l.], v. 44, n. 3, p. 558–571, 2009.

HARON, Z.; YAHYA, K.; JAHYA, Z. Prediction of noise pollution from construction sites at the planning stage using simple prediction charts. **Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research**, [s. l.], v. 29, n. 2, p. 989–1002, 2012.

ISO 14004. Environmental Management Systems - General Guidelines on Principles, Systems and Support TechniquesGeneva, Switzerland, 2007. p. 53.

JUNG, S. *et al*. Health risk assessment for occupants as a decision-making tool to quantify the environmental effects of particulate matter in construction projects. **Building and Environment**, [s. l.], v. 161, n. June, p. 106267, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106267>

KRAJANGSRI, T.; PONGPENG, J. Effect of Sustainable Infrastructure Assessments on Construction Project Success Using Structural Equation Modeling. **Journal of Management in Engineering**, [s. l.], v. 33, n. 3, p. 04016056, 2017.

LI, Y. *et al.* Developing a quantitative construction waste estimation model for building construction projects. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 106, p. 9–20, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.11.001>

PAULSEN, J. S.; SPOSTO, R. M. A life cycle energy analysis of social housing in Brazil: Case study for the program “mY HOUSE MY LIFE”. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 57, n. 2013, p. 95–102, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.11.014>

SOUZA, J. L.; FILHO, F. de A. de S.; BARROS NETO, J. de P. Pegada Hídrica Azul Dos Insumos Utilizados Na Blue Water Footprint of Supplies Used in Building. In: XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS 2015, Brasília - DF. **Anais**... Brasília - DF: XXI SBRH, 2015.

THOMAS, S. T. *et al.* Environmental impacts of construction material production. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Engineering Sustainability**, [s. l.], v. 170, n. 3, p. 169–184, 2017.

TRELOAR, G. J. Extracting embodied energy paths from input-output tables: towards an input-output-based hybrid energy analysis method. **Economic Systems Research**, [s. l.], v. 9, n. 4, p. 375–391, 1997.

UN-WUP. **World Urbanization ProspectsUnited Nations**. New York, USA. Disponível em: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf>.

YIM, S. Y. C. *et al.* Comprehensive evaluation of carbon emissions for the development of high-rise residential building. **Buildings**, [s. l.], v. 8, n. 11, p. 19, 2018.