



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ADOLPHO GUIDO DE ARAÚJO

**METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS EM OBRAS
DE LOTEAMENTO URBANO NA FASE DE PRÉ-CONSTRUÇÃO**

Recife
2021

ADOLPHO GUIDO DE ARAÚJO

**METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS EM OBRAS
DE LOTEAMENTO URBANO NA FASE DE PRÉ-CONSTRUÇÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas com ênfase em Construção Civil.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Rachel Perez Palha.

Coorientador: Prof. Dr. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro.

Recife

2021

Catálogo na fonte
Bibliotecário Gabriel Luz, CRB-4 / 2222

A663m Araújo, Adolpho Guido de.
Metodologia para avaliação dos aspectos ambientais em obras de loteamento urbano na fase de pré-construção / Adolpho Guido de Araújo – Recife, 2021.
202 f.: figs., quads., tabs., siglas.

Orientadora: Profa. Dra. Rachel Perez Palha.
Coorientador: Prof. Dr. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2021.
Inclui referências, apêndices e anexos.

1. Engenharia Civil. 2. Desenvolvimento urbano. 3. Construção civil. 4. Métodos quantitativos. 5. Gestão ambiental. 6. Sustentabilidade. I. Palha, Rachel Perez (Orientadora). II. Carneiro, Arnaldo Manoel Pereira (Coorientador). III. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG / 2021 - 205

ADOLPHO GUIDO DE ARAÚJO

METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS EM OBRAS DE LOTEAMENTO URBANO NA FASE DE PRÉ-CONSTRUÇÃO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, Área de Concentração Estruturas.

Aprovada em 29/09/2021

BANCA EXAMINADORA

Participação por videoconferência

Prof.^a Dr.^a Rachel Perez Palha (orientadora)

Universidade Federal de Pernambuco

Participação por videoconferência

Prof.^a Dr.^a Marcele Elisa Fontana (examinadora externa)

Universidade Federal de Pernambuco

Participação por videoconferência

Prof. Dr. Ruskin Fernandes Marinho de Freitas (examinadora externo)

Universidade Federal de Pernambuco

Participação por videoconferência

Prof.^a Dr.^a Bruna Soares Fernandes (examinadora interna)

Universidade Federal de Pernambuco

Participação por videoconferência

Prof.^a Dr.^a Viviane Adriano Falcão (examinadora interna)

Universidade Federal de Pernambuco

*Dedico este trabalho, ao meu filho,
Dolphinho, minha maior motivação
para enfrentar os desafios da vida.*

AGRADECIMENTOS

A Deus por me guiar no enfrentamento dos obstáculos da vida.

À minha mãe, Glória Ruth, e aos meus irmãos, Carlos e Jéssica, por serem meu alicerce e por me amarem e apoiarem em todos meus desafios.

Em particular, à minha irmã, Jéssica Guido, médica, empresária e acadêmica. Um exemplo de excelência acadêmica como professora, pesquisadora e cientista, aplicando a medicina em prol da sociedade de forma competente e humana. Suas contribuições e seu exemplo profissional foram importantes nesta minha etapa de formação profissional.

Ao meu pai, Carlos Alberto (*in memoriam*), pela sua presença espiritual que conforta e alimenta minha busca por evolução.

Ao meu filho, Adolpho Cauê, apesar de muito jovem, compreendeu as horas de ausências durante o Doutorado, permitindo, assim, que este projeto chegasse à presente etapa. Meu amor por você é infinito.

À professora Dra. Rachel Perez Palha, pela disponibilidade como orientadora e pelas valiosas sugestões para o aprimoramento desta tese. Obrigado pela confiança e apoio nesse período adverso com contingenciamentos de recursos, infraestrutura limitada e pandemia (COVID-19), e mesmo diante desse cenário, orientou com dedicação e consistência.

Ao meu professor e coorientador Dr. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro, pela coorientação, amizade e ensinamentos. Deixo registrado meu profundo respeito e admiração. Obrigado pela importante contribuição na minha formação acadêmica.

E, finalmente, a todos os professores que contribuíram ao longo da minha trajetória acadêmica – em especial ao meu orientador de PIBIC professor Dr. Joaquim Teodoro Romão de Oliveira e ao orientador do mestrado professor Dr. Alexandre Duarte Gusmão. A todos os docentes, alunos, amigos e funcionários da UFPE pela ajuda direta ou indireta na realização deste trabalho.

Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades,
lembrai-vos de que as grandes coisas do homem
foram conquistadas do que parecia impossível
(Charles Chaplin).

RESUMO

Este estudo teve por objetivo desenvolver uma metodologia de avaliação dos aspectos ambientais nas atividades de infraestrutura urbana na fase de pré-construção. A metodologia do estudo foi desenvolvida em três fases: revisão sistemática da literatura, elaboração do método de avaliação ambiental e aplicação do método. Na primeira fase foram investigados os conceitos: sustentabilidade e construção civil, métodos de avaliação ambiental, normas/regulamentos de gestão ambiental e métodos de identificação de fatores causais. Na segunda fase, foi elaborado um método para quantificação de dez aspectos ambientais utilizando os critérios duração e severidade através de uma operação matricial. Com base na quantificação do critério severidade, foi desenvolvido outro método para identificar as causas dos aspectos ambientais. Por fim, a terceira fase foi destinada a aplicação em três projetos de loteamento urbano como exemplo. As atividades construtivas avaliadas foram Terraplenagem, Sistema de drenagem pluvial, Sistema de abastecimento de água potável, Sistema de energia elétrica, Pavimentação e Meio-fio. Dez aspectos ambientais foram selecionados com base na capacidade de quantificação e na possibilidade de ocorrência no caso real. Os aspectos ambientais foram calculados através do critério de severidade, utilizando fórmulas aplicáveis especificamente a cada aspecto ambiental, para eliminar assim a subjetividade do julgamento, em seguida transformados para uma escala adimensional e inseridos no modelo matricial. A terraplenagem teve o maior impacto ambiental com escala máxima (cinco) em sete aspectos ambientais e a emissão de gases do efeito estufa foi o aspecto ambiental de maior pontuação nos projetos A e C, bem como foi o segundo de maior pontuação no projeto B. Os fatores causadores dos aspectos ambientais foram identificados e distribuídos em quatro categorias: máquinas; materiais; métodos e fatores ambientais. A aplicação da metodologia beneficia engenheiros, empresas construtoras e pesquisadores no âmbito da sustentabilidade e construção civil. Pela primeira vez, contribuições foram direcionadas aos projetos urbanísticos para uma avaliação ambiental de forma objetiva na fase pré-construção.

Palavras-chave: Desenvolvimento Urbano. Construção Civil. Métodos Quantitativos. Gestão Ambiental. Sustentabilidade.

ABSTRACT

This study aimed to develop a methodology for evaluating the environmental aspects of urban infrastructure activities in the pre-construction phase. The methodology of the study was in three phases: systematic literature review, elaboration of the environmental assessment method and application of the method. In the first phase, the concepts were investigated: sustainability and construction industry, environmental assessment methods, environmental management standards/regulations and methods for identifying causal factors. In the second phase, a method was developed to quantify ten environmental aspects using the criteria of duration and severity through a matrix operation. Based on the quantification of the severity criterion, another method was developed to identify the causes of environmental aspects. Finally, the third phase was destined to the application in three urban allotment projects as an example. The constructive activities are earthworks, rainwater drainage system, water supply system, electrical energy system, paving and curbing. The ten environmental aspects selected were based on their quantification capacity and with the possibility of occurrence in the real case. The environmental aspects were calculated using the severity criteria for ten environmental aspects in six construction activities, using formulas applicable specifically to each environmental aspect, transformed to a dimensionless scale and inserted in the matrix model. The earthwork had the greatest maximum scale environmental impact (five) in seven environmental aspects and greenhouse gas emissions concentrated the highest scores in projects A and C, was the second highest score in project B. The causative factors of environmental aspects were identified and divided into four categories: machines; materials; environmental methods and factors. The application of the methodology benefits engineers, construction companies and researchers in the field of sustainability and civil construction. For the first time, urban projects could be evaluated objectively based on a methodology for quantifying environmental aspects in the pre-construction phase.

Keywords: Urban development. Construction industry. Quantitative methods. Environmental management. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma da Metodologia da Pesquisa.....	20
Figura 2 – Metodologia Mista.	22
Figura 3 – Fluxograma das Fases da Metodologia Quantitativa.	23
Figura 4 – Publicações na Área de Gestão da Construção e Sustentabilidade.	30
Figura 5 – Periódicos mais Citados na Área de Gestão da Construção e Sustentabilidade.....	32
Figura 6 – Instituições mais Citadas.....	33
Figura 7 – Distribuição das Publicações por Aspectos ao Longo do Tempo.	36
Figura 8 – Composição Gravimétrica dos Artigos do Grupo: Aspectos Ambientais. .	38
Figura 9 – Linha do Tempo das Publicações de Metodologias de Avaliações Ambientais de 2000 – 2009.....	47
Figura 10 – Linha do Tempo das Publicações de Metodologias de Avaliações Ambientais de 2010 - 2021.....	50
Figura 11 – Comparação das Metodologias Quantitativas da Sustentabilidade por Tipo.....	51
Figura 12 – Proposta de Metodologia de Avaliação de Aspectos Ambientais.	59
Figura 13 – Processo de Identificação dos Aspectos Ambientais.....	67
Figura 14 – Diagrama de Pareto para os Critérios Ambientais.....	71
Figura 15 – Grau de Precisão dos Critérios Ambientais na Fase Pré-Construção.	72
Figura 16 – Sumário das Etapas do Método de Avaliação das Causas dos Aspectos Ambientais.	89
Figura 17 – Fluxograma Compacto das Etapas dos Métodos.	92
Figura 18 – Imagem Aérea – Projeto A.	95
Figura 19 – Imagem Aérea – Projeto B.	96
Figura 20 – Imagem Aérea – Projeto C.....	97
Figura 21 – Valores dos Aspectos Ambientais Unitários.	111
Figura 22 – Fluxograma das Causalidades dos Aspectos Ambientais.	117
Figura 23 – Diagrama de Causa e Efeito dos Aspectos Ambientais (<i>Ishikawa</i>).....	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – IIR dos Aspectos Ambientais de 1º Grau.....	64
Tabela 2 – IIR dos Aspectos Ambientais de 2º Grau.....	65
Tabela 3 – Inventário dos Aspectos Ambientais.....	114

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – ASPECTOS AMBIENTAIS PRIMÁRIOS.....	34
QUADRO 2 – DISTRIBUIÇÃO DOS ARTIGOS QUANTO AOS ASPECTOS AMBIENTAIS.....	35
QUADRO 3 – NORMAS AMBIENTAIS E SUAS DESCRIÇÕES.....	41
QUADRO 4 – SISTEMAS DE CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS.....	44
QUADRO 5 – ESTRUTURA ANALÍTICA DA INFRAESTRUTURA.....	60
QUADRO 6 – ASPECTOS AMBIENTAIS NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	61
QUADRO 7 – EXEMPLO DO RELATÓRIO DE ATIVIDADE.....	67
QUADRO 8 – DESCRIÇÃO DOS CRITÉRIOS AMBIENTAIS.....	68
QUADRO 9 – ASPECTOS AMBIENTAIS, CONCEITOS IMPORTANTES E RESUMO DOS CÁLCULOS.....	73
QUADRO 10 – CARACTERIZAÇÃO DOS PROJETOS – CASOS REAIS.....	94
QUADRO 11 – PRAZOS DAS ATIVIDADES CONSTRUTIVAS.....	98
QUADRO 12 – DEFINIÇÃO DAS ESCALAS DE INTERVALOS – DURAÇÃO.....	99
QUADRO 13 – CÁLCULO DAS SEVERIDADES DOS ASPECTOS AMBIENTAIS.....	100
QUADRO 14 – DEFINIÇÃO DAS ESCALAS DE INTERVALOS – SEVERIDADE – PROJETO A.....	104
QUADRO 15 – DEFINIÇÃO DAS ESCALAS DE INTERVALOS – SEVERIDADE – PROJETO B.....	105
QUADRO 16 – DEFINIÇÃO DAS ESCALAS DE INTERVALOS – SEVERIDADE – PROJETO C.....	106
QUADRO 17 – CAUSAS DOS ASPECTOS AMBIENTAIS.....	118

LISTA DE SIGLAS

AEC	ARQUITETURA, ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO
A-MF	ATIVIDADE DE MEIO-FIO
A-P	ATIVIDADE DE PAVIMENTAÇÃO
AQUA	ALTA QUALIDADE AMBIENTAL
AS	ALTERAÇÃO DO SOLO
A-SDP	ATIVIDADE DE SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL
A-SEE	ATIVIDADE DO SISTEMA DE ENERGIA ELÉTRICA
A-SSA	ATIVIDADE DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA
ATM	ATMOSFÉRICA
A-T	ATIVIDADE DE TERRAPLENAGEM
BREEAM	BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT ENVIRONMENTAL ASSESSMENT METHOD
BSI	BRITISH STANDARDS INSTITUTION
CASBEEN	SISTEMA DE AVALIAÇÃO ABRANGENTE PARA EFICIÊNCIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
COVID-19	CORONA VIRUS DISEASE - 2019
EAP	ESTRUTURA ANALÍTICA DE PROJETOS
EPA	ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY
EQP	EQUIPAMENTO
EMAS	SISTEMA COMUNITÁRIO DE ECOGESTÃO E AUDITORIA
GCSI	GREEN CONSTRUCTION SITE INDEX
GEE	EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA
HQE	HAUTE QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE
HKBEAM	MÉTODO DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL DO EDIFÍCIO DE HONGKONG
IIR	ÍNDICE DE IMPORTÂNCIA RELATIVA
ISO	INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION
ISO/TR	INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION/ TECHNICAL REPORT
ISO/TS	INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION/TECHNICAL SPECIFICATION

LEED	LIDERANÇA EM ENERGIA E DESIGN AMBIENTAL
MS PROJECT®	SOFTWARE DE GERENCIAMENTO DE PROJETO
PA	POLUIÇÃO DAS ÁGUAS
PM	MATERIAL PARTICULADO
PROCEL EDIFICA	PROGRAMA NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES
PS	POLUIÇÃO SONORA
PSOLO	POLUIÇÃO DO SOLO
PTS	PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO
PVC	POLY VINYL CHLORIDE
RCD	RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO
UA	USO DA ÁGUA
UE	USO DE ENERGIA
URMP	USO DE RECURSOS E MATERIA-PRIMA
VOSviewer®	SOFTWARE PARA CONSTRUÇÃO E VISUALIZAÇÃO DE REDES BIBLIOMÉTRICAS
WEB®	WORD WIDE WEB

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	CONTEXTO DO PROBLEMA	18
1.2	JUSTIFICATIVA	19
1.3	OBJETIVOS	19
1.4	HIPÓTESE	20
1.5	METODOLOGIA.....	20
1.5.1	Revisão Sistemática da Literatura	21
1.5.1.1	Método Quantitativo	22
1.5.1.2	Meta-Análise	24
1.5.1.3	Método Qualitativo	25
1.5.2	Elaboração do Método de Avaliação Ambiental (2ª Fase).....	25
1.5.3	Aplicação do Método (3ª Fase).....	26
1.6	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	26
2	REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	28
2.1	SUSTENTABILIDADE	28
2.2	ASPECTOS, IMPACTOS E CRITÉRIOS AMBIENTAIS	34
2.3	NORMAS DE GESTÃO AMBIENTAL.....	40
2.4	SISTEMAS DE CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL.....	43
2.5	METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL	46
2.6	METODOLOGIAS PARA IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS DOS ASPECTOS AMBIENTAIS	53
2.7	ANÁLISE CRÍTICA DA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	55
3	DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO PREDITIVO DE AVALIAÇÃO DE ASPECTOS AMBIENTAIS.....	58
3.1	ANÁLISE PRÉVIA	59
3.1.1	Atividades e/ou Processos Construtivos	60
3.1.2	Aspectos Ambientais	61
3.2	IDENTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS	66
3.3	AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS.....	68
3.3.1	Base de Cálculo dos Critérios Ambientais.....	68
3.3.1.1	Cálculo da Duração das Atividades	72

3.3.1.2	Cálculo da Severidade dos Aspectos Ambientais	72
3.3.1.2.1	<i>Partículas totais em suspensão (PTS)</i>	76
3.3.1.2.2	<i>Emissão de gases do efeito estufa (GEE)</i>	78
3.3.1.2.3	<i>Poluição sonora (PS)</i>	79
3.3.1.2.4	<i>Alteração do solo (AS)</i>	80
3.3.1.2.5	<i>Poluição do solo (PSOLO)</i>	80
3.3.1.2.6	<i>Poluição das águas (PA)</i>	81
3.3.1.2.7	<i>Uso de recurso e matéria-prima (URMP)</i>	81
3.3.1.2.8	<i>Resíduo da construção e demolição (RCD)</i>	82
3.3.1.2.9	<i>Uso da água (UA)</i>	83
3.3.1.2.10	<i>Uso de energia (UE)</i>	83
3.3.2	Base de Cálculo da Escala de Intervalos dos Critérios Ambientais ..	84
3.3.3	Base de Cálculo da Operação Matricial	85
3.4	ANÁLISE SUMÁRIA DO MÉTODO	86
4	DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DAS CAUSAS E	
	EFEITOS DOS ASPECTOS AMBIENTAIS	89
4.1	QUANTIFICAÇÃO	89
4.2	INVENTÁRIO	89
4.3	IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS	91
4.4	FLUXOGRAMA COMPACTO DO MÉTODO PREDITIVO DE AVALIAÇÃO	
	E DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DAS CAUSAS E EFEITOS DOS	
	ASPECTOS AMBIENTAIS	92
5	RESULTADOS.....	93
5.1	CARACTERIZAÇÃO DOS CASOS REAIS	93
5.1.1	Projeto A	94
5.1.2	Projeto B	95
5.1.3	Projeto C	96
5.2	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA.....	97
5.2.1	Resultados dos Cálculos das Durações das Atividades Construtivas	
	97
5.2.2	Resultados dos Cálculos das Severidades dos Aspectos Ambientais	
	99
5.2.3	Resultados dos Cálculos Matriciais dos Aspectos Ambientais.....	107

5.2.4	Resultado do Inventário dos Aspectos Ambientais.....	110
5.2.5	Resultado da Identificação das Causas dos Aspectos Ambientais	115
5.3	ANÁLISE SUMÁRIA DOS RESULTADOS	120
6	DISCUSSÃO	123
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	133
7.1	CONTRIBUIÇÕES	133
7.2	IMPACTOS PARA SOCIEDADE	134
7.3	LIMITAÇÕES.....	135
7.4	PESQUISAS FUTURAS	136
	REFERÊNCIAS.....	137
	APÊNDICE A – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS	
	DO CRITÉRIO SEVERIDADE	162
	APÊNDICE B – MEMÓRIA DE CÁLCULO DO ASPECTO	
	AMBIENTAL POLUIÇÃO SONORA DO PROJETO A	189
	ANEXO A - INFORMAÇÕES DO ORÇAMENTO BÁSICO	201
	ANEXO B – CRONOGRAMA	202

1 INTRODUÇÃO

As grandes concentrações urbanas produzem altos níveis de poluição, consumo de água e energia, além de problemas de acesso à saúde de qualidade, dificuldades com transporte, segurança e gestão de resíduos, impactando negativamente na qualidade de vida dos cidadãos (KOURTIT; NIJKAMP; PARTRIDGE, 2013). As construções causaram impactos particularmente através das emissões de carbono, das alterações climáticas, das gerações de resíduos, das mudanças do uso da terra e da perda de biodiversidade (ALWAN; JONES; HOLGATE, 2015). Este cenário repercutiu sobre as empresas da indústria da construção, junto às suas partes interessadas por meio de uma visão organizacional que vem expressando seu compromisso com práticas ambientais saudáveis (PETROVIC-LAZAREVIC, 2010).

A intenção da redução do impacto ambiental pela indústria da construção é uma questão atual e importante (FREDRIKSSON; NOLZ; SERAGIOTTO, 2021). As equipes de projetos buscam soluções para as ameaças das construções ao ambiente natural (HOPFE; MCLEOD, 2021). Desde 1990, o interesse pela sustentabilidade tem aumentado na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) (DET UDOMSAP; HALLINGER, 2020; HATEFI; TAMOŠAITIENE, 2018). No entanto, a falta de informações ambientais adequadas nos documentos de planejamento urbano geram limitações para as avaliações e suas estratégias junto aos decisores de políticas públicas (KABIR; MORGAN, 2020). Ao compreender as interações sociais, ambientais e econômicas é possível criar um processo econômico mais verde no setor de infraestrutura (KENNEDY; ZHONG; CORFEE-MORLOT, 2016), ajudando o processo de urbanização na intercessão permanente e progressiva dos impactos ambientais.

Os projetos de construções bem sucedidos integram as três dimensões da sustentabilidade: econômica, social e ambiental (AL-TMEEMY; ABDUL-RAHMAN; HARUN, 2011). No entanto, muitas empresas de construção podem aprimorar seus projetos e melhorar os requisitos de sustentabilidade (BAMGBADE et al., 2019), através da utilização de metodologias de avaliações que comunicam os impactos da *Triple Boltom Line* na fase inicial do projeto (DE PAULA; MELHADO, 2018; SHAHTAHERI; FLINT; DE LA GARZA, 2018). Pesquisas incipientes foram desenvolvidas para avaliar de forma preditiva a sustentabilidade das infraestruturas.

Logo, as metodologias de avaliação ambiental são capazes de contribuir na quantificação analítica dos projetos de infraestrutura na fase de pré-construção. Estas devem ser incentivadas para fornecer benefícios gerais nas áreas: científicas, políticas, corporativas e sociais, proporcionando vantagens aos engenheiros, aos projetistas, aos construtores, às empresas e aos pesquisadores da área de sustentabilidade e construção civil.

1.1 CONTEXTO DO PROBLEMA

Há poucas pesquisas na área de construção civil direcionadas ao desenvolvimento de metodologias quantitativas a fim de avaliar a sustentabilidade na indústria da construção. E, a vasta maioria das metodologias quantitativas de avaliação da sustentabilidade na construção publicadas fazem uso das opiniões de especialistas para identificar e avaliar o desempenho ambiental das obras podendo conter imprecisões.

As pesquisas em infraestrutura sustentável concentram informações originárias de diversas áreas, como: engenharia, ciências ambientais, construção e arquitetura (THOMÉ et al., 2016), tornando a busca pela sustentabilidade um desafio multidisciplinar. Os processos construtivos envolvem uma ampla rede de partes interessadas (organização, comunidade, trabalhadores, agentes públicos, empresas terceirizadas e fornecedores), bem como atividades e operações de fluxos variados desenvolvidas em ambientes não controlados com influências de fatores ambientais diversos.

O campo da infraestrutura sustentável é relativamente novo, promissor e está em crescimento por dois motivos: a preocupação ecológica das partes interessadas diante dos ambientes urbanos e a consolidação de alguns temas - substituição de materiais de construção, aprimoramentos sucessivos de ferramentas de avaliação e adaptações de ferramentas de avaliações nas cidades (THOMÉ et al., 2016). Logo, as oportunidades para a melhoria da performance ambiental das infraestruturas surgem no campo científico e empresarial.

1.2 JUSTIFICATIVA

Atualmente, a limitada quantidade de modelos de avaliações quantitativas para infraestrutura urbana cujo o objetivo seja quantificar os aspectos ambientais na fase pré-construção é uma lacuna a ser preenchida. Diante disso, faz-se necessário criar um método objetivo, simples e aplicável para a fase inicial de projeto, a fim de se reduzirem os impactos gerados pelas obras.

Ding (2008) relatou que os métodos de avaliações ambientais foram mais úteis durante a fase de projeto, pela possibilidade de minimizar os danos ambientais. Este relato motivou esta pesquisa no sentido de desenvolver um método de avaliação na fase pré-construção.

Em muitos casos, o estabelecimento de avaliações de impactos ambientais consideradas teoricamente perfeitas, na prática ainda apresentam obstáculos, como: limitações de técnicas, escassez de recursos e complexidade dos ecossistemas (LI et al., 2016). Tendo em vista a necessidade de novos modelos de avaliações ambientais, esta pesquisa justifica sua proposta, oferecendo uma avaliação ambiental objetiva.

1.3 OBJETIVOS

A partir da verificação do que ainda é incipiente e conflitante, a presente pesquisa tem por objetivo desenvolver uma metodologia em que os aspectos ambientais das atividades de infraestrutura sejam quantificados e suas causas identificadas, objetivamente, na fase de pré-construção. Este objetivo será alcançado com as seguintes metas:

- a) Identificar critérios ambientais quantificáveis;
- b) Estabelecer método de cálculo para quantificar os critérios ambientais de forma objetiva;
- c) Desenvolver um modelo preditivo de avaliação dos aspectos ambientais das atividades de construção;
- d) Identificar e analisar os fatores de causa e efeito dos aspectos ambientais das atividades de construção em casos reais;
- e) Elaborar um inventário para automatizar o cálculo da severidade ambiental.

1.4 HIPÓTESE

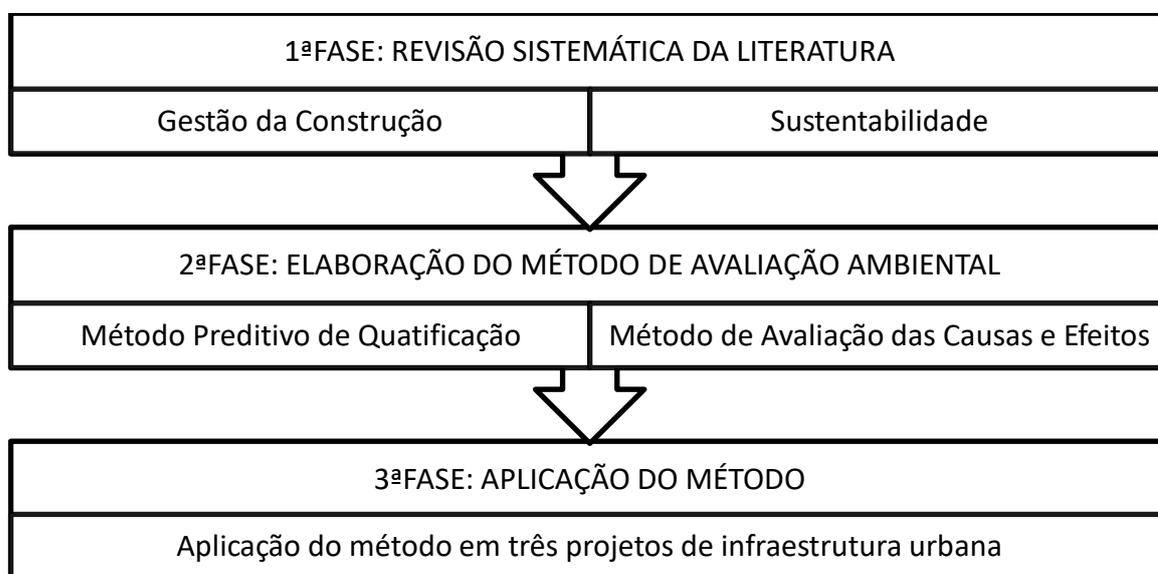
Diante da inexistência de metodologias objetivas que quantifiquem os aspectos ambientais na fase de pré-construção em atividades de infraestrutura urbana nos países de desenvolvimento foram formuladas as seguintes hipóteses:

- Os aspectos ambientais podem ser quantificados através de critérios objetivos;
- É possível desenvolver um método objetivo para quantificar os aspectos ambientais com as informações do cronograma e orçamento dos projetos;
- A identificação das causas dos aspectos ambientais na fase pré-construção podem ser estabelecidas com base nos cálculos analíticos das quantificações.

1.5 METODOLOGIA

O método foi desenvolvido através de um conjunto de técnicas coerentes entre si. Foi seguido um processo na obtenção do conhecimento que orientaram a coleta de dados, as definições e as abordagens. A metodologia foi composta por três fases: Revisão Sistemática da Literatura, Elaboração do Método e Aplicação do Método, representado na figura 1.

Figura 1 – Fluxograma da Metodologia da Pesquisa

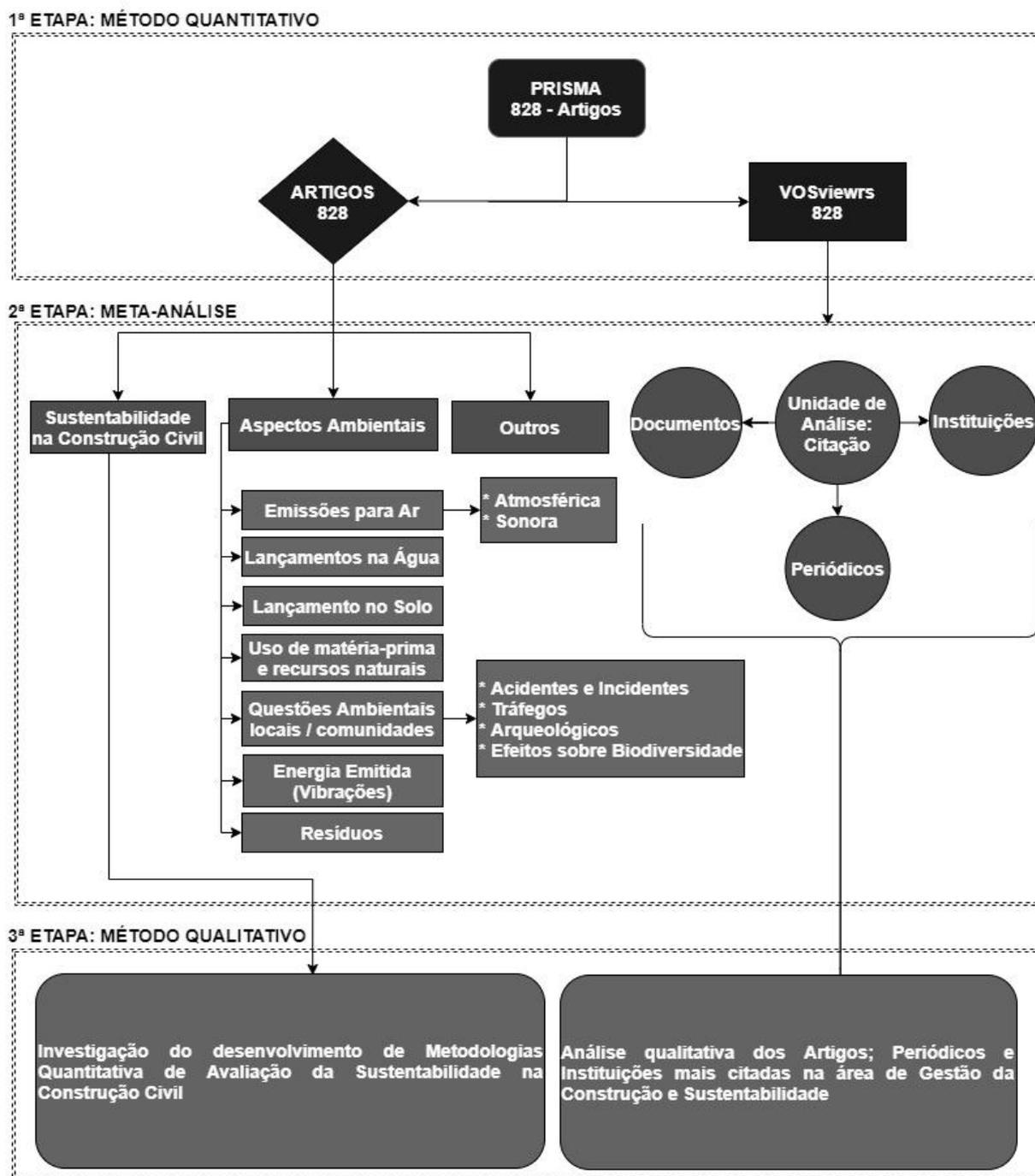


Fonte: Autor, 2021.

1.5.1 Revisão Sistemática da Literatura

A revisão sistemática da literatura científica foi realizada no âmbito da gestão da construção e sustentabilidade. Esta análise foi realizada em três etapas através de um método misto, conforme apresentado na figura 2: uma análise quantitativa, uma etapa de Meta-análise onde os artigos filtrados e separados em *clusters* para análise bibliométrica manual e no *software VOSviewers*[®] e na última etapa foi realizada uma análise qualitativa, onde foram realizadas duas atividades distintas, a primeira foi direcionada aos estudos dos documentos do grupo da “sustentabilidade na construção civil” e a segunda atividade foi a análise dos resultados obtidos no *software VOSviewers*[®]. Pluye e Nha Hong (2013) afirmaram que os métodos mistos integram métodos quantitativos e qualitativos, permitindo combinar os números e as explicações que os validam. Misturar paradigmas de pesquisa permite múltiplos níveis e perspectivas, além de misturar o desenvolvimento de teorias e a avaliação empírica (GOUGH, 2015). Temas multidisciplinares e interdisciplinares com as questões da sustentabilidade necessitam de prospecção múltiplas, por isso foi escolhida esta metodologia para realizar o estudo da arte nas áreas de sustentabilidade e gestão da construção.

Figura 2 – Metodologia Mista



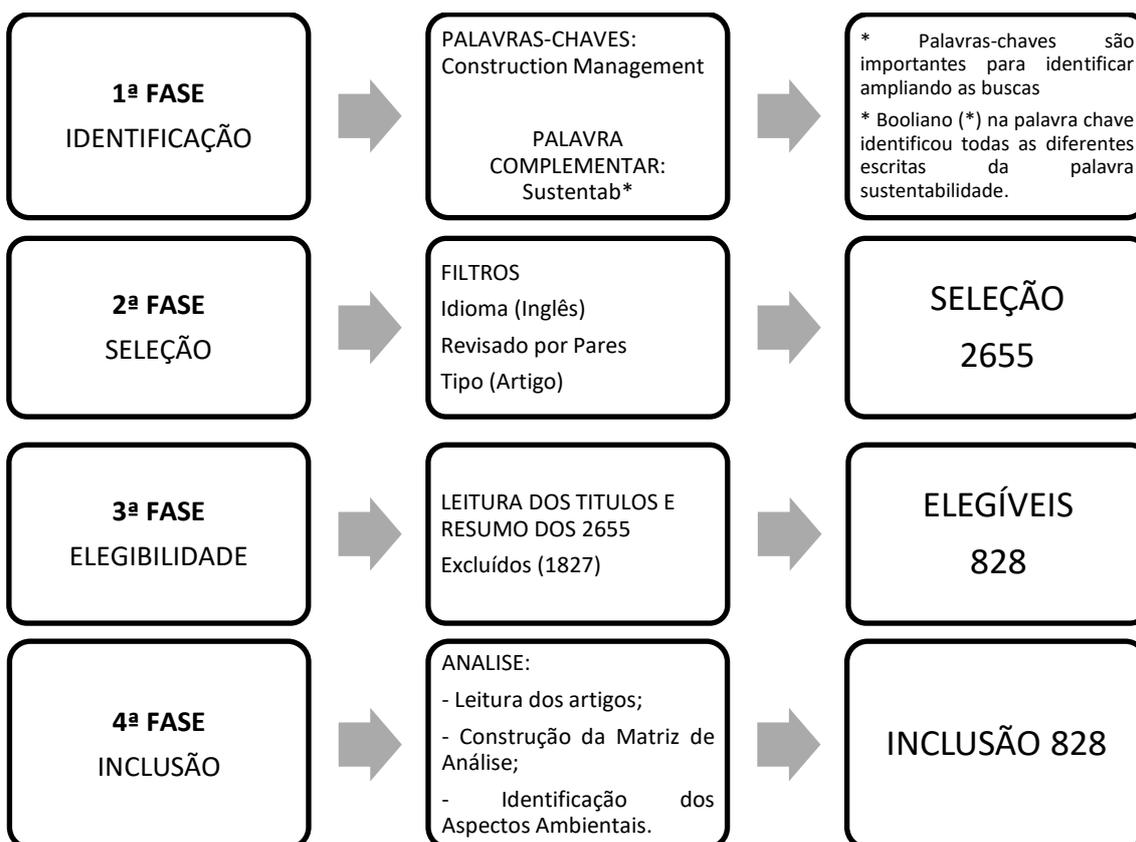
Fonte: Autor, 2021.

1.5.1.1 Método Quantitativo

Os artigos analisados foram buscados na base de dados da *Web of Science* e contemplam o período de 1945 até 31 de dezembro de 2018. As palavras utilizadas nas buscas foram *Construction management and Sustainab**, com o termo do *booleano* * na palavra sustentabilidade visando ampliar as buscas nas diversas formas de

escrita. A partir desta, foram encontradas 2.655 publicações. Apesar da base de dados incluir estudos desde 1945, a primeira publicação relacionada a esta pesquisa aconteceu apenas no ano de 1993. A fim de verificar o real enquadramento dos artigos ao contexto desta pesquisa, foram realizados filtros que seguem a metodologia PRISMA (MOHER et al., 2010). As atividades contempladas em cada uma das fases desta análise quantitativa podem ser verificadas na figura 3.

Figura 3 – Fluxograma das Fases da Metodologia Quantitativa



Fonte: Autor, 2021.

O processo de recuperação dos documentos segundo a metodologia PRISMA é decomposto em quatro fases, divididas em: (i) Identificação; (ii) Seleção; (iii) Elegibilidade; e (iv) Inclusão (MOHER et al., 2010). Na fase de Identificação foram utilizadas palavras centrais com palavras complementares na base de dados da *Web of Science*, em que todos os artigos identificados foram recuperados para a segunda fase denominada de seleção. Na segunda fase, foram utilizados os seguintes filtros: idioma em inglês; revisados por pares e tipo do material artigo. Na terceira fase, a de Elegibilidade, foi realizada a leitura dos títulos e resumos, sendo eleitos os artigos com conteúdo diretamente relacionado ao assunto em questão e dentro da área de

conhecimento de gestão, construção e sustentabilidade, nesta fase aconteceu a exclusão dos artigos com conteúdo fora da área/assunto. Na quarta fase, a de inclusão, 828 documentos foram incluídos para análise.

1.5.1.2 Meta-Análise

A meta-análise aconteceu a partir de uma tabela com informações que incluíam o número de ordem, periódico, ano de publicação, autores, títulos e resumos para os oitocentos e vinte oito artigos. Três grupos foram criados para distribuir os documentos, para o primeiro grupo “construção civil e sustentabilidade”, onde foram selecionados os artigos que abordaram os assuntos como: sistema de gestão ambiental na construção civil; identificação e avaliação dos aspectos ambientais; construção sustentáveis; indicadores de desempenho ambiental; ferramentas e certificações ambientais na construção civil. No segundo grupo, foram selecionadas as publicações referentes aos sete aspectos ambientais determinados pela ISO 14004 (2007). Os sete aspectos ambientais e suas decomposições estão apresentados em detalhes na figura 2. O terceiro grupo, denominado “outros”, foi criado para colocar aqueles artigos que pareciam estar no escopo desta pesquisa na primeira análise, mas que foi verificado sua falta de elegibilidade ao longo da análise detalhada.

Os 828 documentos foram submetidos a análise utilizando o *software* VOSviewer®, o qual ajudou a desenvolver mapas que indicavam os principais trabalhos representados pelos círculos e seus *links* representados pelas linhas. A partir dos mapas gerados no software foi possível identificar os artigos que possuíam mais citações, assim como os periódicos voltados para a área de gestão de construção e sustentabilidade e as instituições responsáveis por estas publicações.

O VOSviewer® é uma ferramenta para criar mapas baseados em dados de rede, onde o tamanho do círculo é determinado pelo peso do item e quanto maior o peso de um item, maior o círculo e sua fonte (ECK; WALTMAN, 2018). A cor determina o *cluster* ao qual o item pertence. As linhas entre círculos representam os *links*, e as distância entre os círculos indicam o grau de parentesco dos termos analisados. A análise realizada foi por citação aplicada aos artigos, periódicos e instituições.

1.5.1.3 Método Qualitativo

Pluye e Nha Hong (2013) descreveram que os métodos qualitativos fornecem descobertas empíricas para explicar de forma teórica as contribuições desenvolvidas nas pesquisas publicadas. Logo optou-se por análises qualitativas para elucidar as questões dos campos de conhecimentos na área de gestão da construção civil e sustentabilidade relacionadas ao desenvolvimento de metodologias quantitativas de sustentabilidade.

Para qualificar os artigos foram realizadas duas análises distintas. Na primeira análise, verificou-se o conteúdo explorado pelos documentos do grupo sustentabilidade na construção civil, e foram analisados os documentos que apresentavam metodologias de avaliação da sustentabilidade das obras. Para aprofundar as investigações sobre as metodologias de avaliação da sustentabilidade das obras, foram analisadas as referências bibliográficas dos artigos descobertos nesta pesquisa e incluídos para análise os documentos que apresentaram metodologias de avaliação de sustentabilidade. A segunda análise contemplou a análise detalhada dos mapas desenvolvidos a partir do *software VOSviewers*[®].

1.5.2 Elaboração do Método de Avaliação Ambiental (2ª Fase)

Foi aplicado na pesquisa, o método hipotético-dedutivo decorrente da teoria e da hipótese formulada, composto de duas etapas. A primeira etapa foi destinada a investigação e seleção das atividades construtivas das obras de infraestrutura e os aspectos ambientais, conforme critérios de elegibilidade/inclusão estabelecidos no capítulo 3. A escolha dos critérios ambientais, severidade e duração, ocorreu pela importância e possibilidade de serem extraídos dos documentos da fase pré-construção. Os valores quantitativos dos critérios foram transformados em escala de intervalos de cinco pontos para possibilitar cálculo adimensional. E finalmente, a operação matricial estabeleceu o resultado final do modelo. Então, foi desenvolvido um modelo matricial com dois critérios ambientais - severidade 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 severidade, foram utilizadas fórmulas; e para definição dos valores da duração, utilizou-se os dias das atividades do cronograma da obra.

A segunda etapa foi a elaboração de um modelo de avaliação das causas e efeitos dos aspectos ambientais, descrito no capítulo 4. Esta etapa foi subdividida em três fases: quantificação, desenvolvimento de um inventário e identificação das causas dos aspectos ambientais estudados de forma objetiva com base nas variáveis das equações de quantificação das severidades. O propósito da adoção das duas etapas foi fornecer respostas as avaliações quantitativas. A integração das informações quantitativas e qualitativas forneceu uma melhor compreensão dos aspectos ambientais e benefícios aos gerenciamentos das atividades construtivas nas obras de infraestrutura.

1.5.3 Aplicação do Método (3ª Fase)

Os dados de três casos reais foram adquiridos de uma empresa urbanizadora para a validação do exemplo numérico e a obtenção dos resultados de quantificação dos dez aspectos ambientais, utilizando os orçamentos e os cronogramas. Esta fase foi destinada pela aplicação dos dois modelos desenvolvidos. Os três casos reais de desenvolvimento urbano disponibilizados foram aplicados nos métodos para quantificar e avaliar as causas dos aspectos ambientais nas obras de infraestrutura urbana. Todos foram avaliados com base nos mesmos critérios, com respeito às informações dos projetos, orçamentos, e características ambientais das regiões.

1.6 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Esta tese está estruturada em sete capítulos, conforme a sequência apresentada a seguir.

O primeiro capítulo, apresentado anteriormente foi composto da introdução, do contexto do problema, da justificativa, do objetivo e da metodologia utilizada na pesquisa, além deste item denominado de estruturação do trabalho.

O segundo capítulo apresenta a revisão sistemática da literatura os seguintes temas: sustentabilidade; aspectos, impactos e critérios ambientais; normas de gestão ambiental; sistemas de certificação ambiental; metodologias de avaliação ambiental; metodologias para identificação das causas dos aspectos ambientais. Além da análise crítica da revisão sistemática da literatura.

O terceiro capítulo apresenta a proposta de desenvolvimento do método preditivo de avaliação dos aspectos ambientais, utilizando uma abordagem quantitativa de avaliação dos aspectos ambientais de seis atividades construtivas presentes em obras de infraestrutura urbana.

O quarto capítulo apresenta o desenvolvimento do método de avaliação das causas e efeitos dos aspectos ambientais.

O quinto e o sexto capítulo apresentam os resultados e a discussão. Neste capítulo, três casos reais foram submetidos à metodologia de forma prática.

Por fim, o capítulo sétimo apresenta as considerações finais acerca desta tese, além das contribuições, impactos para a sociedade, limitações e pesquisas futuras. Ainda na parte final: as referências bibliográficas, o apêndice e os anexos.

2 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A revisão sistemática da literatura está estruturado em cinco seções. Na seção 2.1, apresentam-se os conceitos e a história da sustentabilidade na construção civil. A seção 2.2 descreve, os principais conceitos dos termos: aspectos, impactos e critérios ambientais; 2.3, 2.4, 2.5 e 2.6 foram reservadas para retratar as normas de gestão ambiental, os sistemas de certificação ambiental, as metodologias de avaliação ambiental e as metodologias para identificação das causas dos aspectos ambientais, respectivamente. Finalmente, na seção 2.7 foi descrita a análise crítica das seções anteriores do referencial teórico.

2.1 SUSTENTABILIDADE

O termo desenvolvimento sustentável foi compreendido como a melhoria da qualidade de vida com ambientes saudáveis e nas condições sociais, econômicas e ambientais para as gerações presentes e futuras (ORTIZ; CASTELLS; SONNEMANN, 2009). A definição de sustentabilidade mais adotada foi a da Comissão *Brundtland*, que a descreveu como o desenvolvimento para atender às necessidades do presente, sem comprometer as gerações futuras (CARTER; ROGERS, 2008). Logo, a economia, o meio ambiente e a responsabilidade social compõem os três pilares da sustentabilidade (BOCCHINI et al., 2014; NEPPACH; NUNES; SCHEBEK, 2017). O desenvolvimento sustentável estende as oportunidades para satisfazer as aspirações por uma vida melhor (BRUNDTLAND, 1987).

O interesse em sustentabilidade na indústria da construção surgiu durante os anos 90 (DET UDOMSAP; HALLINGER, 2020). Nesse período, a sustentabilidade ganhou pauta na agenda política do governo britânico que endossou a necessidade de pesquisas sobre a integração de questões sociais e ambientais que incluíssem claramente a indústria da construção (BALL, 2002). Ela incluiu a sustentabilidade inicialmente através da adoção dos sistemas de gestão ambiental usados para abordar os impactos de uma organização no ambiente (CHRISTINI; FETSKO; HENDRICKSON, 2004).

A sustentabilidade organizacional possui três componentes: o ambiente natural, a sociedade e o desempenho econômico (CARTER; ROGERS, 2008). E consiste em alcançar resultados em todas os componentes, contribuindo para

melhoria do ambiente e da sociedade, mas ao mesmo tempo, obtendo vantagens competitivas e benefícios econômicos para as empresas de construção (SHEN et al., 2010).

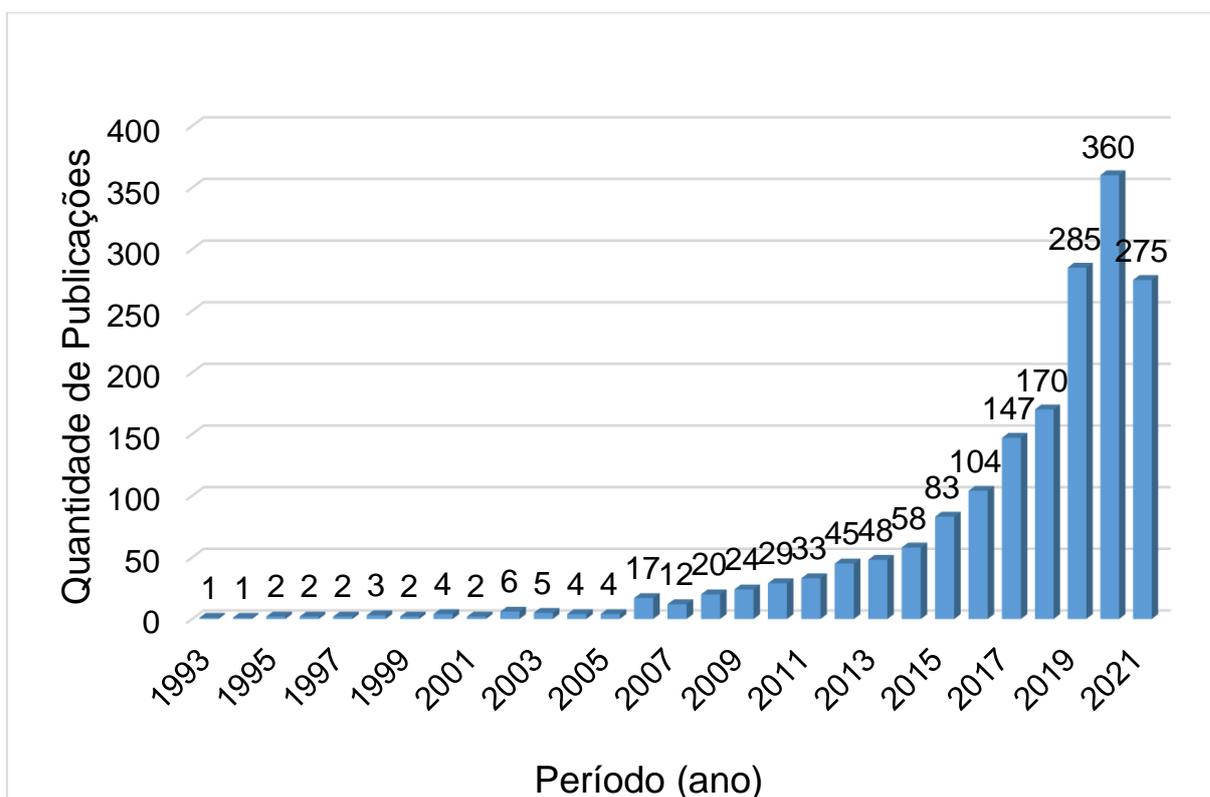
Com o objetivo de também atender à dimensão ambiental da sustentabilidade, as empresas de construção civil vêm implementando os sistemas de gestão ambiental para atender as conformidades das regulamentações/normas ambientais vigentes, reduzir os custos ambientais, reduzir riscos ambientais, treinar funcionários, desenvolver indicadores de impacto e melhorar o desempenho ambiental (CHRISTINI; FETSKO; HENDRICKSON, 2004). O motivo inicial da implementação dos sistemas de gerenciamento ambiental pelas empresas foi a busca da obediência às legislações ambientais (SZYMAŃSKA-BRAŁKOWSKA, 2010). As empresas que foram proativas na implementação dos sistemas de gestão ambiental buscaram múltiplos benefícios como: melhoria dos requisitos de conformidade regulamentar; abertura dos mercados e redução das barreiras comerciais; redução de responsabilidades e riscos; credibilidade aprimorada entre clientes e colegas; redução de impactos nocivos ao meio ambiente; prevenção/redução de poluição e desperdício - muitas vezes resultando em redução de custos; melhorias na segurança do local e do projeto - minimizando as lesões relacionadas aos derramamentos, liberações e emissões ambientais; melhor relacionamento com partes interessadas - como agências governamentais, grupos comunitários e investidores; e estabelecimento de um sistema para melhoria ambiental contínua (CHRISTINI; FETSKO; HENDRICKSON, 2004). No entanto, os sistemas de gestão ambiental não foram capazes de abranger todas as fases do ciclo de vida dos projetos da construção civil.

Os projetos de infraestrutura linear não podem ser avaliados na prática por qualquer ferramenta ou metodologia (FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, 2010). Avaliações das infraestruturas civis na fase de planejamento tornaram-se cruciais para a sustentabilidade (JANG; LEE; HAN, 2018). As abordagens tradicionais dos projetos de infraestrutura apontaram o sucesso do projeto para as entregas econômicas concentradas em prazo, orçamento e qualidade, atendendo aos benefícios econômicos e proporcionando efeitos prejudiciais nas dimensões sociais e ambientais (AKBARI; KHANZADI; GHOLAMIAN, 2018). No entanto, o conceito, desenvolvido na agenda 21 na Cúpula da Terra em 1992, estendeu-se às necessidades de desenvolvimento das cidades em um nível estratégico para as questões ambientais (FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, 2010). E as

pesquisas começaram a avaliar os impactos ambientais relacionadas às infraestruturas nos estágios iniciais do ciclo de vida (OLIVER-SOLÀ; GABARRELL; RIERADEVALL, 2009).

A partir de uma revisão da literatura com 828 publicações na área de gestão da construção e sustentabilidade divulgados na base de dados da *web of science* foi possível verificar o artigo mais antigo incluído foi em 1993 e que até 2005 não se observou um aumento significativo no número de publicações sobre este tema. Até setembro de 2021 foi identificado um contínuo e exponencial avanço das publicações no tema, totalizando 1748 publicações. O número de artigos cresceu após a publicação das normas, regulamentos, leis e tratados internacionais, a partir da década de 90, com o intuito de sugerir metodologias para adequações às novas legislações. E a partir de 2006, houve um crescimento com comportamento de uma curva exponencial nas publicações na área de gestão da construção e sustentabilidade com 170 publicações no ano de 2018. A **Figura 4** apresenta a distribuição das publicações relacionadas à sustentabilidade na construção civil ao longo do tempo.

Figura 4 – Publicações na Área de Gestão da Construção e Sustentabilidade



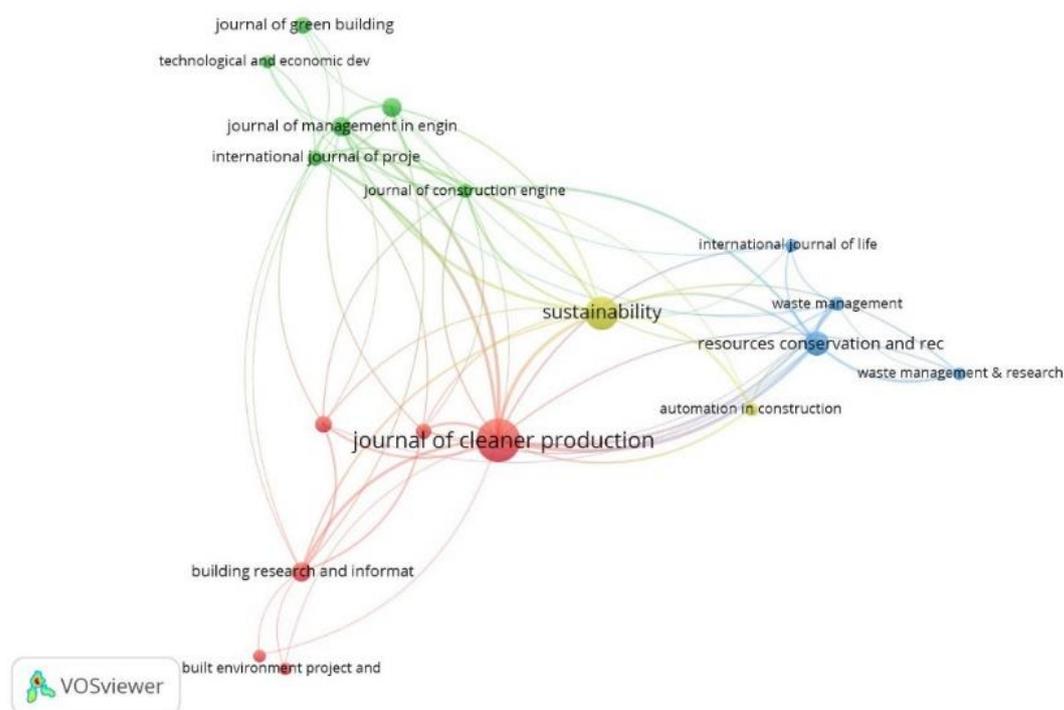
Fonte: Autor, 2021.

Na coleção das 828 publicações, foram identificados 299 periódicos, em que 18 deles formaram o *cluster* dos mais citados dentre as publicações do mundo científico no banco de dados da *Web of Science*, com a utilização de software *VOSviewer version 1.6.9*[®]. O periódico que recebeu mais registros de citações foi o *Journal of Cleaner Production*, com 93 publicações e 974 citações. Este periódico é internacional, transdisciplinar, voltado para pesquisa e prática de produção mais limpa, ambiental e sustentável, abrangendo questões ambientais de sustentabilidade em empresas, governos, instituições de ensino, regiões e sociedades (JCP, 2019).

O segundo foi o *Building Research and Information* com 18 documentos e 610 citações. O escopo deste periódico é direcionado aos edifícios e seus sistemas de apoio. Suas publicações fornecem abordagens conceituais e baseadas em evidências que refletem a complexidade e os vínculos entre a qualidade cultural, ambiental, econômica, social, organizacional, saúde, bem-estar, design e engenharia do ambiente construído (JBE, 2019). Por último, o *Resources Conservation and Recycling* com 29 publicações e 563 citações, suas publicações focam no manejo sustentável e na conservação de recursos, enfatizam os processos de transformações envolvidos e uma transição para sistemas de produção e consumo mais sustentáveis (RCR, 2019).

O periódico *Sustainability* apareceu no cluster de forma peculiar, representado pelo cluster amarelo, posicionado em décimo lugar em número de citações, com total de 185; mas em terceiro lugar em quantidade de links, e no segundo lugar em número de documentos publicados. É um periódico internacional e interdisciplinar com estudos relacionados à sustentabilidade e ao desenvolvimento sustentável (S-OAJ, 2019). Autores publicaram uma revisão da literatura relacionada as infraestruturas sustentáveis e também apontaram o periódico *Sustainability* entre os quinze mais importantes do mundo (THOMÉ et al., 2016). A figura 5 demonstra a rede de *links* entre os periódicos, distribuída em quatro (04) *clusters*.

Figura 5 – Periódicos mais Citados na Área de Gestão da Construção e Sustentabilidade



Fonte: Autor, 2021.

As instituições responsáveis pelas publicações da amostra analisada apresentaram uma concentração no continente asiático, dominado pelas instituições chinesas. Através da utilização do *software VOSviewer version 1.6.9*[®] foram encontradas 951 organizações nos 828 artigos incluídos na pesquisa.

A *Hong Kong Polytechnic University* foi a instituição cujos periódicos receberam mais citações, com total de 628 citações em 33 trabalhos publicados, obtendo 62 *links* com outras instituições. Ela é considerada uma das melhores universidades da Ásia, e sua missão é no desenvolvimento de pesquisas de impacto que beneficiem o mundo, bem como nutrir pensadores críticos, comunicadores eficazes, solucionadores de problemas inovadores e cidadãos globais socialmente responsáveis (THKPU, 2019).

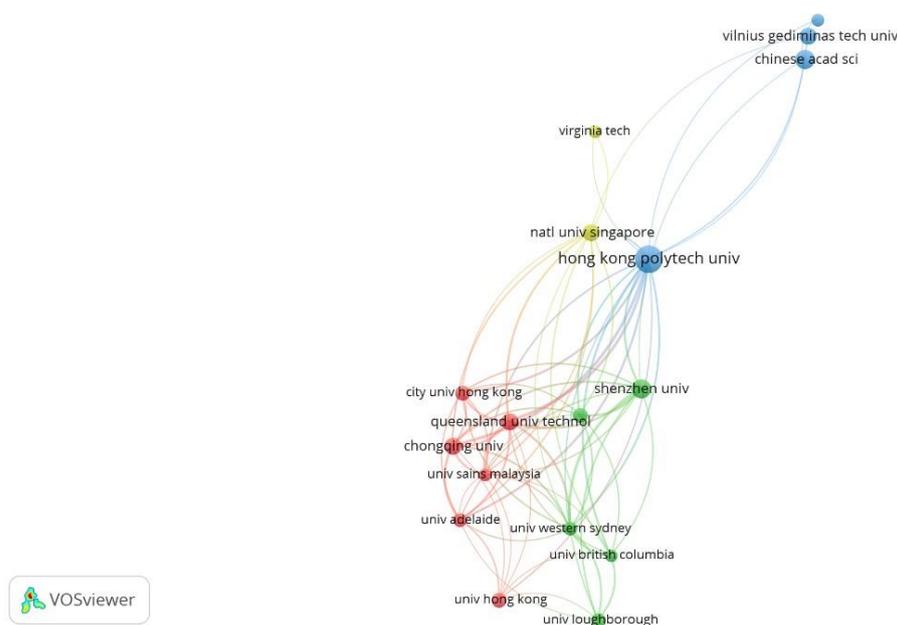
A *Chinese Academy of Sciences*, está na segunda colocação entre as 951 instituições identificadas pelo *VOSviewer version 1.6.9*[®], com 270 citações em 18 documentos, no entanto, possui apenas 03 *links* com outras instituições, pois é detentora de uma rede de instituições chinesas que investe significativamente em pesquisas (CAS, 2016). Observa-se que a China – além de ser a atual potência econômica do mundo, também está com universidades empenhadas em produções

científicas que causem impactos relevantes na área de gestão da construção e sustentabilidade.

A terceira *Vilnius Gediminas Technical University* obteve 253 citações em 12 documentos. Considerada uma das maiores instituições de ensino superior inovadora na Lituânia com áreas de foco de pesquisas direcionadas a: edifícios sustentáveis, tecnologias ambientais e energéticas, transporte sustentável, mecatrônica, tecnologias de informação e comunicação, pesquisa fundamental em materiais e processos, economia engenharia, gestão e comunicação (VGTU, 2019).

A figura 6 representa rede de links das 18 instituições mais citadas. Estas instituições foram distribuídas em cinco *clusters*, entretanto o quinto *cluster*, não apresentou *links*, portanto não está representado na figura.

Figura 6 – Instituições mais Citadas



Fonte: Autor, 2021.

Em resumo, as aplicações dos conceitos de sustentabilidade na indústria da construção civil permitiram diversas oportunidades com a inclusão das questões sociais, econômicas e ambientais. O crescimento exponencial das pesquisas confirmava a importância do tema para a construção civil. No entanto, os periódicos definiram escopos amplos com pesquisas multidisciplinares, e as instituições chinesas fomentaram uma parcela significativa das pesquisas, pois desenvolvimento industrial nessa região desencadeou um desequilíbrio ambiental global.

2.2 ASPECTOS, IMPACTOS E CRITÉRIOS AMBIENTAIS

Os aspectos ambientais foram definidos como os elementos das atividades ou produtos ou serviço de uma organização que pode interagir com o meio ambiente (EMAS, 2001; ISO 14001, 2004). Afirma-se que um aspecto está ligado diretamente a um impacto (ZOBEL; BURMAN, 2004). E o aspecto ambiental significativo pode gerar um impacto ambiental significativo (ISO 14031, 2004). Entretanto, a significância e magnitude dos impactos mudam com o estágio do ciclo de vida em consideração (ISO 15392, 2008). Todos os aspectos das atividades causam mudanças no meio ambiente em maior ou menor grau (WHITELAW, 2004).

Os problemas ambientais urbanos são fenômenos que impactam diretamente o meio ambiente das cidades e podem ocasionar: poluição, ilhas de calor, inversão térmica, chuva ácida, enchentes e deslizamento de terra. O desenvolvimento urbano exacerba as mudanças climáticas globais com implicações para as populações urbanas, que ficam vulneráveis aos efeitos das variações climáticas (CAMPBELL-LENDRUM; CORVALÁN, 2007). O quadro 1 apresenta os principais aspectos ambientais considerados de domínio público e nítidos nas pesquisas referente à indústria da construção civil.

Quadro 1 – Aspectos Ambientais Primários

ASPECTOS AMBIENTAIS	DESCRIÇÃO
EMISSÕES PARA O AR	Emissões geradas nas atividades da indústria da construção, por exemplo: gases do efeito estufa; materiais particulados; compostos orgânicos voláteis; odores.
LANÇAMENTOS PARA ÁGUA	Poluição dos efluentes líquidos externalizados das atividades construtivas; lançamentos de efluentes não tratados e consumo de água
LANÇAMENTOS PARA O SOLO	Poluição do solo e subsolo pela infiltração de fluídos poluentes da fabricação dos elementos de construção, alteração do solo e impactos visuais dos canteiros de obra.
USO DE MATÉRIAS-PRIMA E RECURSOS NATURAIS	Consumo de matérias-primas e recursos naturais para construção, por exemplo: argila, calcário e minério de ferro.
RESÍDUO	Resíduos da construção civil; demolição e resíduo sólido doméstico gerado nos canteiros de obras.
USO DE ENERGIA	Consumo de energia para produção de materiais e execução das tarefas da construção civil.

EMISSIONES SONORA	Ruídos provocados pelas máquinas, equipamentos, trabalhadores e atividades da indústria da construção civil.
ENERGIA EMITIDA	Vibrações, radiações e calor.
EFEITOS BIODIVERSIDADE	Degradações da biodiversidade do entorno afetadas diretamente pelas atividades construtivas, tais como: perda da fauna e da flora nativa.
QUESTÕES AMBIENTAIS LOCAIS/DA COMUNIDADE	Incômodos da vizinhança, perturbações locais, questões de transporte e sociais.
EMISSIONES PERIGOSAS	Emissões de produtos tóxicos provenientes de vazamento e acidentes.
ACIDENTES/ INCIDENTES	Acidentes em geral e incêndio.
IMPACTOS ARQUEOLÓGICOS	Impactos nos elementos arqueológicos não catalogados.

Fonte: Autor, 2021.

Dentre as 828 publicações na área de gestão da construção e sustentabilidade, um total de 365 artigos relataram as avaliações ambientais. Estes artigos foram investigados para extrair quais os aspectos ambientais foram mencionados nas avaliações, os autores identificaram 10 aspectos que foram listados no quadro 2.

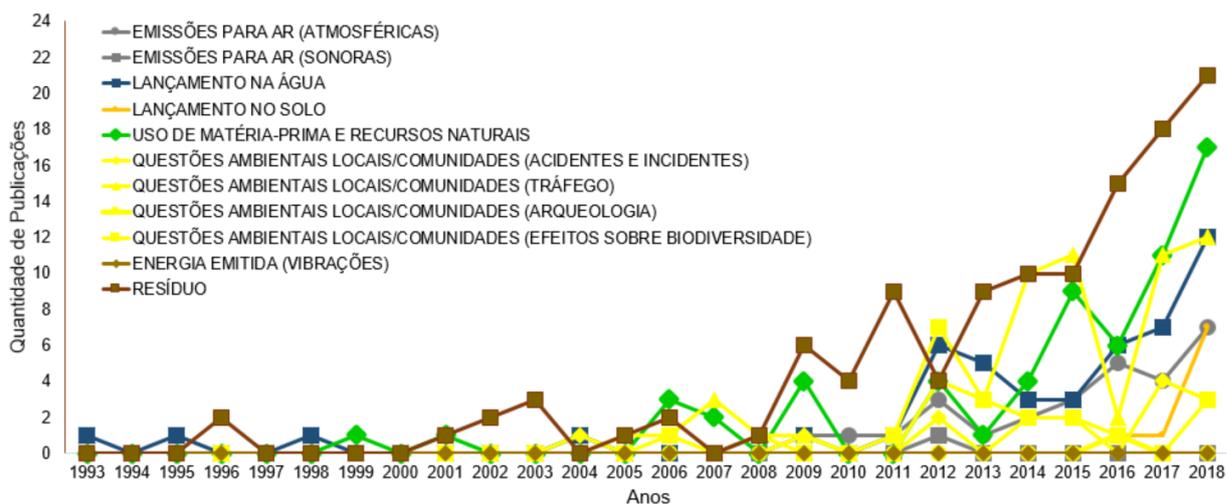
Quadro 2 – Distribuição dos Artigos quanto aos Aspectos Ambientais.

ASPECTOS AMBIENTAIS	QUANTIDADE DE ARTIGOS
Resíduo	118
Uso de matéria-prima e recursos naturais	63
Questões ambientais locais/comunidades (tráfego)	60
Lançamentos na água	49
Emissões para ar (atmosféricas)	28
Questões ambientais locais/comunidades (efeitos sobre biodiversidade)	21
Questões ambientais locais/comunidades (acidentes e incidentes)	15
Lançamentos no solo	09
Emissões para ar (sonora)	01
Questões ambientais locais/comunidades (arqueologia)	01
Energia emitida (vibrações)	00

Fonte: Autor, 2021.

A identificação de aspectos ambientais em áreas não regulamentadas é mais difícil e deve ser tratado de maneira diferente, muitos autores preferem uma abordagem orientada a processos para identificação na construção civil (ZOBEL; BURMAN, 2004). A figura 7 apresenta distribuição das publicações referentes aos dez aspectos ambientais.

Figura 7 – Distribuição das Publicações por Aspectos ao Longo do Tempo



Fonte: Autor, 2021.

O aspecto ambiental mais estudado foi Resíduo. Justamente, por ser um desafio da indústria da construção civil que contribui para 25% do total de resíduo do mundo (TEH; WIEDMANN; MOORE, 2018). A produção de resíduo está associada às taxas de desperdícios de materiais de construção no local, portanto apresenta impacto econômico no custo de produção (YAHYA; HALIM BOUSSABAINÉ, 2006). Além disso, as empresas foram obrigadas a estabelecer diretrizes de gerenciamento de resíduos para cumprimento das leis (KIM et al., 2006).

As Questões Ambientais Locais/Comunidades totalizaram 97 publicações, subdivididas nos seguintes tópicos: Acidentes e Incidentes, Tráfego, Arqueologia e Efeitos sobre Biodiversidade. O alcance do desenvolvimento sustentável para atender às necessidades e objetivos de todas as partes interessadas acontecerá quando a sociedade for incluída nas pesquisas (DOBROVOLSKIENĖ; TAMOŠIŪNIENĖ, 2016), pois os *stakeholders* diretos e indiretos sofrem com os efeitos dos impactos ambientais.

O Uso de Recurso e Matéria-prima obteve o terceiro lugar em número de publicações, e concomitantemente, seguiu o mesmo comportamento da curva de crescimento de publicações de Resíduo, o que era esperado diante sinergia do uso da matéria-prima com geração de resíduo. Existe uma crescente preocupação com esgotamento de recursos diante das necessidades de uso de matéria-prima para o desenvolvimento dos produtos da construção civil (ORTIZ et al., 2009).

O quarto aspecto ambiental – Lançamentos na Água – está relacionado ao desperdício e racionalização do uso de água nos canteiros, além da preocupação com

poluição das águas superficiais e subterrâneas devido às atividades de construção. O número elevado de publicações sobre o tema ressalta a necessidade de estudos sobre a eficiência para uso e medidas de conservação da água nas operações de construções (WAIDYASEKARA; DE SILVA; RAMEEZDEEN, 2017).

Os artigos científicos referentes às emissões para o ar (atmosférica e ruído) reforçaram a necessidade de redução do nível de emissões de dióxido de carbono pela indústria da construção civil. As atividades de construção são importantes fontes de emissões de material particulado (MULESKI; KINSEY; COWHERD, 2005), e poucas pesquisas foram desenvolvidas nas obras para conhecimento aprofundado desse aspecto ambiental. Observou-se a falta de estudos de poluição sonora mediante medições e monitoramentos de seus efeitos, dimensões e propagações das atividades construtivas a fim de reduzir estes impactos socioambientais (ARAÚJO et al., 2012).

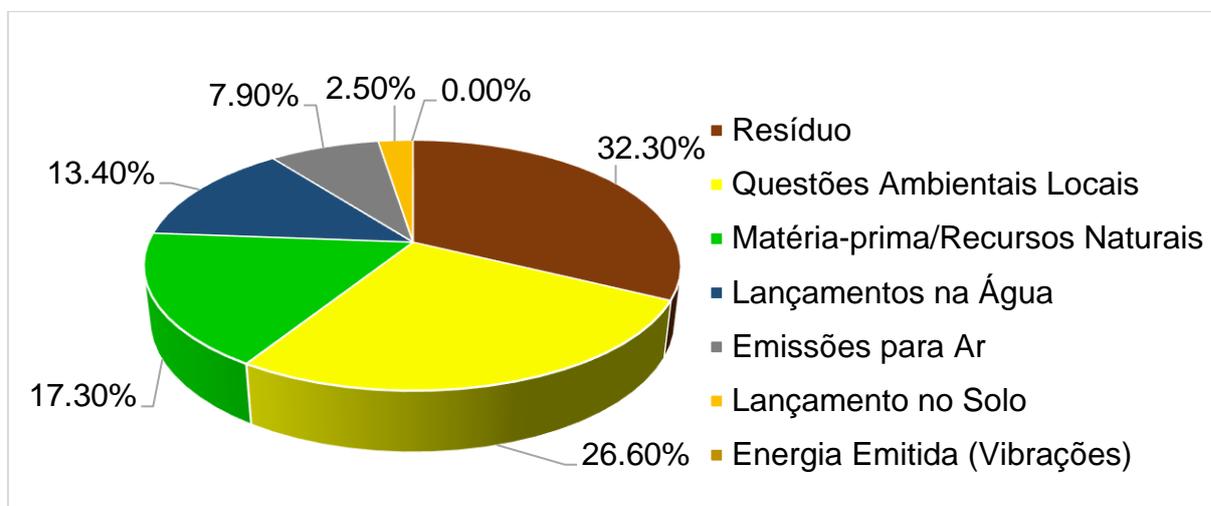
O sexto aspecto ambiental, Lançamentos no Solo, foi abordado em apenas nove trabalhos, o que sugere um menor interesse científico. Pesquisas sobre uso do solo ainda precisam ser realizadas (QU; LONG, 2018). E práticas inovadoras e sustentáveis de uso do solo devem ser desenvolvidas em respostas aos problemas ambientais para que sejam analisados e tratados durante todo processo de planejamento, construção, operação, manutenção e manejo do uso do solo (WU et al., 2018).

Não foram encontradas publicações a respeito do último aspecto ambiental, denominado de Energia Emitida (vibrações), na Revisão Sistemática realizada em 2020. No entanto, esse aspecto é abordado em outras áreas de pesquisas como engenharia mecânica e segurança do trabalho.

A escassez de estudos em relação a alguns aspectos ambientais dificultam a gestão do conhecimento em sustentabilidade na construção civil para elaboração de uma metodologia quantitativa ampla para avaliação ambiental nas questões de julgamento, identificação e avaliação de indicadores. Até o momento, as metodologias quantitativas de previsão de aspectos ambientais optaram por avaliar os aspectos mais estudados. A indústria da construção utiliza uma enorme quantidade de matérias-primas gerando um significativo impacto ambiental e financeiro (YAHYA; HALIM BOUSSABINE, 2006). A matéria-prima, os recursos naturais e os resíduos foram amplamente explorados. Além disso, a minimização das perdas de materiais e uso de materiais reciclados foram alguns dos fatores que influenciaram na redução de

resíduos (KIM et al., 2006). Essas questões acabaram refletindo nos campos de pesquisa mais explorados (figura 8), além de refletir a sinergia entre aspectos como Resíduos e Uso de Matéria-prima/Recursos Naturais na construção civil.

Figura 8 – Composição Gravimétrica dos Artigos do Grupo: Aspectos Ambientais



Fonte: Autor, 2021.

Os impactos ambientais foram definidos como uma mudança no ambiente causada parcial ou totalmente por uma ou mais questões ambientais, excedendo os marcos de referências regulamentares, conforme estabelecidos no sistema de gestão ambiental e que geraram efeitos adversos sobre o ambiente na entrega do projeto (MURPHY; NAHOD, 2017). É notório o impacto da indústria da construção sobre o meio ambiente (YU et al., 2018), portanto necessita de monitoramento permanente.

O impacto ambiental é descrito como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causado por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I – a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II – as atividades sociais e econômicas; III – as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V – a qualidade dos recursos ambientais (CONAMA, 1986).

Os projetos têm consequências para terra, água, vegetação, ar, ruído e vibração, embora muitos impactos são uma consequência natural da decisão de construir, alguns têm implicações adversas tanto para o meio ambiente quanto para o projeto em andamento (MURPHY; NAHOD, 2017). Por isso, a indústria da construção civil ficou conhecida como um das maiores poluidoras do mundo (FIRMAWAN et al., 2016). De fato, os impactos surgiram da interação entre fatores do local de trabalho,

equipamentos, materiais, trabalhadores e tarefas, dando origem a diferentes circunstâncias em cada processo realizado durante a fase de construção (FUERTES et al., 2013).

As partes interessadas externas, representadas principalmente pelas associações comunitárias, ambientalistas, organizações não-governamentais e mídia, também demonstraram uma preocupação como os impactos ambientais, que foram materializados por decisões políticas através do estabelecimento de políticas, planos e objetivos governamentais (GANGOLELLS et al., 2011). Logo, mecanismos de medições foram estabelecidos para a quantificação dos critérios ambientais.

O critério ambiental é entendido como um elemento aplicado a algum método para medir um nível de desempenho ambiental pretendido e estabelecido pela administração da organização, utilizado com o propósito de avaliar a performance ambiental (ISO 14031, 2004).

Zobel e Burman (2004) identificaram os critérios mais adotados na literatura:

- (a) Escala do impacto;
- (b) Severidade do Impacto;
- (c) Probabilidade de ocorrência;
- (d) Permanência do impacto;
- (e) Exposição regulamentar/legal, real ou potencial;
- (f) Dificuldade de mudar o impacto;
- (g) Preocupações das partes interessadas.

O estabelecimento de critérios e métodos servem para determinar os aspectos ambientais considerados significativos e são recomendados para as medições das questões ambientais (ISO 14001, 2004). No entanto, os critérios desenvolvidos por uma organização deverão ser abrangentes, passíveis de verificação independente, reprodutíveis e acessíveis (EMAS, 2001).

Resumidamente, os conceitos na área de sustentabilidade apresentam ausência de consenso nas suas nomenclaturas, dificultando as identificações dos aspectos, dos impactos e dos critérios ambientais. As terminologias utilizadas no setor da construção civil necessitam de padronizações para os aspectos, os impactos e os critérios ambientais identificados nas suas atividades.

2.3 NORMAS DE GESTÃO AMBIENTAL

A primeira norma de gestão ambiental, *British Standards Institution* (BSI) 7750, foi publicada em 1992 na Inglaterra. No mesmo ano, foi realizada a Conferência das Nações Unidas sobre meio ambiente no Brasil (KAMINSKI, 2013).

Em fevereiro de 1993, a União Europeia apresentou o Programa em Direção ao Desenvolvimento Sustentável proclamado pelo Regulamento (CEE) nº 1836/93 (EMAS, 2001, 2009). E três anos depois, foi publicada a norma *International Organization for Standardization* (ISO) 14001 com base na BSI 7750 que tratou dos requisitos para implantação de sistemas de gestão ambiental em organizações. A partir destas normas, desenvolveram-se vários estudos na área da gestão ambiental para avaliações ambientais (JOHNSTON; HUTCHISON; SMITH, 2000; WELLS, 1993; ZOBEL; BURMAN, 2004).

Na primeira década do século XXI, a *International Organization for Standardization* (ISO), além de revisar as normas anteriores, novas normas foram publicadas, já que um dos motivos da implementação dos sistemas de gerenciamento ambiental pelas empresas foi a busca do cumprimento às legislações ambientais (SZYMAŃSKA-BRAŁKOWSKA, 2010).

A ISO 14001 e ISO 14004 relataram requisitos, padrões e suportes para sistemas de gestão (ISO 14001, 2004; ISO 14004, 2007). Já *International Organization for Standardization* (ISO) publicou a ISO 14010, que descreveu os princípios gerais para auditoria ambiental (ISO 14010, 2004). Em 2003, foi publicada ISO 14015 que orientou as avaliações ambientais (ISO 14015, 2003); e a ISO 14021, apontou os requisitos de declarações ambientais (ISO 14021, 2016).

No desenvolvimento de processos e ferramentas de avaliação de performance ambiental, as normas ISO 14031 e ISO/TR 14032 forneceram o direcionamento (ISO/TR 14032, 1999; ISO 14031, 2004). No entanto, metodologias de avaliações do ciclo de vida foram publicadas no mundo, e a família de normas ISO 14040; 14041; 14042 e 14043 relataram os conceitos, limites dos sistemas e métodos de avaliações (ISO 14040, 2001; ISO 14041, 1998; ISO 14042, 2000; ISO 14043, 2000).

Finalmente, as normas abrangeram a sustentabilidade em todas as suas dimensões, sendo a ISO 15392, responsável pelos princípios de sustentabilidade (ISO 15392, 2008) e as ISO/TS 21929-2; ISO: 21929-1; 21930; 21931 mencionaram os indicadores de sustentabilidades para a construção civil (ISO/TS 21929-2, 2015; ISO

21929-1, 2011; ISO 21930, 2007; ISO 21931-1, 2010). Diante destas estruturas, vários regulamentos e outras normas foram oferecidos à indústria da construção civil e abordaram dimensões da sustentabilidade específicas, bem como aspectos ambientais particulares (quadro 3).

Quadro 3 – Normas Ambientais e suas Descrições

NORMA	TÍTULO	DESCRIÇÃO
ISO 14001 (2004)	<i>Environmental Management Systems - Requirements with guidance for use</i>	Obteve sua primeira edição em 1996. Esta norma especificou os requisitos para a capacitação de um sistema de gestão ambiental dentro de uma organização (políticas e objetivos).
ISO 14004 (2005)	<i>Environmental Management Systems - General guidelines on principles, systems and support techniques</i>	Obteve sua primeira edição em 1996. Esta norma forneceu assistência às organizações que desejaram implementar ou aprimorar um sistema de gestão ambiental (indicadores de desempenho ambiental mensuráveis).
ISO 14010 (1996)	Diretrizes para auditoria ambiental - Princípios Gerais	Esta norma pretendeu orientar organizações, auditores e seus clientes sobre os princípios gerais comuns às execuções de auditorias ambientais. Atualmente foi cancelada e substituída pela ISO 19011/2018 (Diretrizes para auditoria de sistemas de gestão).
ISO 14015 (2003)	Gestão Ambiental - Avaliação ambiental de locais e organizações (AALO)	Esta norma forneceu orientação para condução de avaliações ambientais de locais e organizações (AALO).
ISO 14021 (2017)	<i>Environmental labels and declarations - Self-declared environmental claims (Type II environmental labelling)</i>	Sua primeira edição foi em 2004. Esta norma especificou requisitos para reivindicações ambientais autodeclaradas, incluindo declarações, símbolos e gráficos, referentes aos produtos.
ISO 14031 (2004)	<i>Environmental management - Environmental performance evaluation - Guidelines</i>	A primeira edição desta norma foi em 2004. Objetivo foi oferecer um processo e uma ferramenta de gestão interna.
ISO/TR 14032 (1999)	<i>Environmental management - Examples of Environmental performance evaluation (EPE)</i>	A primeira edição desta norma foi em 1999. Este Relatório Técnico foi um documento de acompanhamento da ISO 14031:1999 e forneceu exemplos de vida útil para considerações de organizações sob a EPE.
ISO 14040 (2001)	<i>Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípio e estrutura</i>	Esta norma descreveu os princípios e a estrutura para conduções e relatos dos estudos de Avaliação de Ciclo de Vida.
ISO 14041 (1998)	<i>Environmental management - life cycle assessment - goal and scope definition and inventory analysis</i>	Esta Norma internacional trata de duas fases de avaliação do ciclo (ACV), definição de objetivos/escopo e análise de inventário do ciclo de vida (ACV).
ISO 14042 (2000)	<i>Environmental management - life cycle assessment - life cycle impact assessment</i>	A avaliação de impacto do ciclo de vida (LCIA), foi a terceira fase da avaliação do ciclo de vida descrita na ISO 14040.
ISO 14043 (2000)	<i>Environmental management - life cycle assessment - life cycle interpretation</i>	Esta norma internacional tratou sobre interpretação do ciclo de vida e descreveu a fase final de procedimento de avaliação do ciclo de vida (LCA), na qual orientou os resultados de uma análise de inventário do ciclo de vida (LCI).

ISO 15392 (2008)	<i>Sustainability in building construction - General principles</i>	Esta norma internacional apresentou os princípios gerais de sustentabilidade relacionados aos edifícios e outras obras de construção.
ISO 21929-1 (2011)	<i>Sustainability in building construction - Sustainability indicators - Part 1: Framework for the development of indicators and a core set of indicators for buildings</i>	Esta parte da ISO 21929 descreveu e forneceu diretrizes para o desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade relacionados aos edifícios.
ISO/TS 21929-2 (2015)	<i>Sustainability in building construction - Sustainability indicators - Part 2: Framework for the development of indicators for civil engineering works</i>	Esta parte da ISO 21929 descreveu e forneceu diretrizes para o desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade relacionados às obras de engenharia civil. Seguiu os princípios estabelecidos na ISO 15392.
ISO 21930 (2007)	<i>Sustainability in building construction - Environmental declaration of building products</i>	Esta norma internacional forneceu os princípios e requisitos para declarações ambientais tipo III (EPD) de produtos de construção.
ISO 21931-1 (2010)	<i>Sustainability in building construction - Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works - Part 1: Buildings</i>	Esta parte da ISO 21931 estabeleceu uma estrutura para os métodos de avaliações de desempenho ambiental de edifícios e obras externas relacionadas.
EMAS (2001)	<i>Sistema Comunitário de Eco gestão e Auditoria</i>	Foi o programa < Em direção ao desenvolvimento sustentável >, apresentado pela Comissão Europeia e aprovado, teve como objetivo a promoção de uma melhoria contínua no comportamento ambiental das organizações.

Fonte: Autor, 2021.

A normatização gerou mudanças positivas para o desenvolvimento da gestão ambiental no mundo. Diante do fato de que as conferências colocaram na vitrine midiática os grandes desafios das questões ambientais, e forneceram visibilidade, seguidas pelas regulamentações implementadas pelos governos para conter os efeitos nocivos da produção de obras de construções. E paralelamente, normas e regulamentos foram publicados para padronização dos procedimentos da gestão ambiental no mundo e incentivaram os desenvolvimentos de sistemas de certificações ambientais.

Em síntese, as publicações das normas ambientais ocorreram quase simultaneamente em países desenvolvidos da América do Norte e Europa. As entidades reguladoras publicaram normas genéricas e facilmente adaptáveis as regiões e indústrias diversas. As normas/regulamentos são mecanismos protetores para o meio ambiente e beneficiam as organizações comprometidas com a sustentabilidade.

2.4 SISTEMAS DE CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL

Os sistemas de certificações ambientais foram desenvolvidos para avaliação das medidas de controle ambiental adotadas pelas indústrias de construção civil. No entanto, foram concebidos de acordo com as condições climáticas e regulatórias de cada local (CHANG; HSIEH, 2020) e com prioridades para cada situação ambiental (HONG; LEE; YU, 2019).

A maioria dos sistemas de certificações para construção civil focaram em consumo de energia, eficiência da água, uso de material e qualidade ambiental interna (CHANG; HSIEH, 2020). Assim, surgiu a necessidade do desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão no tocante às questões ambientais para ponderar e hierarquizar os itens estabelecidos (ZHONG; WU, 2015), e os sistemas de certificações incluem a sugestão e induzem o desenvolvimento de ações sustentáveis nas edificações através da adoção de critérios e pontuações (BEZERRA; OLIVEIRA, 2015), como também auxiliam e incentivam a busca pela qualidade e desempenho ambiental dos edifícios (JANG; LEE; HAN, 2018).

Muitos métodos comerciais foram desenvolvidos para avaliação do desempenho ambiental das atividades de construção, tais quais: HKBEAM (método de avaliação ambiental do edifício de Hong Kong) introduzido pelo centro de tecnologia ambiental; LEED (Liderança em Energia e Design Ambiental) oferecido pelo *Green Building Council* dos EUA; BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) proposto pelo *British Research Establishment* do Reino Unido e HPBG (*High-Performance Building Guidelines*) definido pelo Departamento de Design e Construção de Nova York (SHEN et al., 2005). Há também o CASBEEN (Sistema de Avaliação Abrangente para Eficiência do Ambiente Construído) proposto pelo Japão; HQE (*Haute Qualité Environnementale*) desenvolvido na França (BORJA et al., 2018).

No entanto, o LEED é um sistema de classificação e certificação ambiental projetado para a indústria da construção americana, criado em 1996 pelo *US Green Building Council* (USGBC), e na versão atual para novas construções (LEED-NC) (PICCOLI et al., 2010). Os critérios do LEED são distribuídos: sítios sustentáveis, uso eficiente de água, energia e atmosfera, materiais e recursos, qualidade do ambiente interno e mais cinco créditos são distribuídos a categoria de inovação e processo de projeto (CÔRTEZ et al., 2011).

Efeitos sobre a Biodiversidade	•	•		•	•	•		•
Mudança de uso da terra				•	•	•		•
Qualidade estética				•		•		•
Questões de Transporte	•							•
Gestão da Construção (comissionamento; impacto do projeto; segurança)	•	•		•		•		•
Inovação (nível de performance exemplar; certificação BREEAM; tecnologias e processos construtivos)	•		•	•		•		•
DIMENSÃO SOCIAL								
Educação para Gestão de RCD								•
Educação Ambiental dos Empregados								•
Desenvolvimento Pessoal dos Empregados								•
Capacitação Profissional dos Empregados								•
Inclusão de trabalhadores locais								•
Participação da comunidade na elaboração de projeto								•
Orientação aos moradores								•
Educação ambiental dos moradores								•
Capacitação para Gestão do Empreendimento								•
Ações para mitigações de riscos sociais								•
Ações para a geração de emprego e renda								•
Legado deixado pelas obras				•	•	•		
Acesso a serviço	•							•
Acessibilidade	•							•
Adaptabilidade								•

Fonte: Autor, 2021.

Os sistemas de certificações ambientais contribuem para classificação dos projetos. No entanto, os critérios qualitativos sugeridos pelos sistemas proporcionam enquadramento da avaliação dentro do modelo fixo. E a subjetividade nas auditorias, onde as percepções dos auditores internos e externos para preenchimento dos *checklists* padrões fornecem imprecisões. Diante dos questionamentos dos resultados de auditorias, buscou-se cada vez mais formas de se prever os aspectos ambientais através do desenvolvimento de metodologias de avaliações ambientais mais objetivas e facilmente adaptáveis. Sucintamente, os sistemas de certificações surgiram com vários objetivos, como: padronização, adequação e manutenção das responsabilidades ambientais. Paralelamente forneceram certificados às instituições ao ressaltar o compromisso ambiental com reflexos positivos da sua imagem.

2.5 METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL

Houve o desenvolvimento de metodologias que identificassem indicadores relacionados ao planejamento urbano e projetos de construção (FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, 2010). Porém há poucos estudos sobre a integração de aspectos da gestão ambiental principalmente na fase de planejamento da construção (CHEN; LI; WONG, 2005). Urge estabelecer uma metodologia para identificação de indicadores de sustentabilidade para gestão de projetos. Não se observou uma norma ou modelo padrão para identificações de indicadores que siga uma metodologia técnico-científica (FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, 2010), provavelmente devido a essência holística e antropocêntrica da sustentabilidade que confundiu as tentativas de análise e avaliação objetivas (BELL; MORSE, 2008).

A Gestão ambiental passou a ser fundamental na construção civil e métodos quantitativos foram elaborados por diversos pesquisadores. Ao serem analisados os bancos de dados da Sociedade Americana de Engenharia Civil e Compendex Ei identificou-se de que apenas 2% dos artigos forneceram métodos quantitativos em gestão ambiental para indústria da construção (CHEN; LI; WONG, 2005), e após 15 anos, Araújo et al. (2020) realizaram uma revisão sistemática na base de dados da *Web of Science* e identificaram também apenas 2,54% dos artigos.

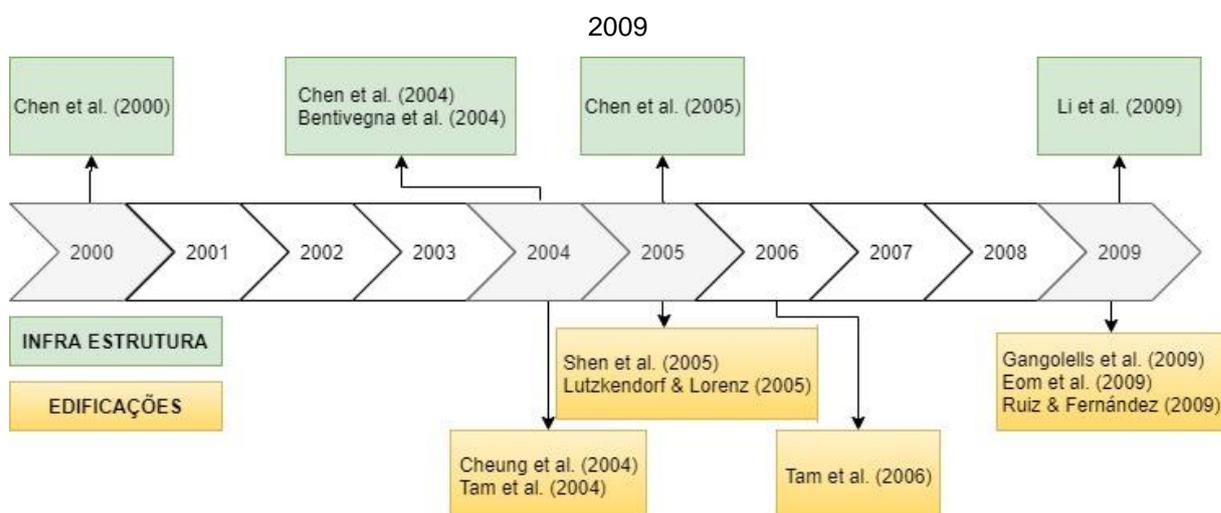
No início do século XXI, trabalhos robustos direcionados à infraestrutura (planejamento urbano) foram publicados, especialmente em 2000 na China devido a carga de poluição da indústria da construção, um índice de poluição para quantificar e identificar o melhor plano de construção para dimensão ambiental foi proposto (CHEN; LI; HONG, 2004; CHEN; LI; WONG, 2000, 2005). Dois anos depois, uma pesquisa de desenvolvimento urbano sustentável foi publicada, onde havia a elaboração de um *framework* para questões ligadas ao desenvolvimento urbano sustentável denominado BEQUEST (BENTIVEGNA et al., 2002). E diante da preocupação de se medir e avaliar projetos urbanos sustentáveis, indicadores quantificáveis, reproduzíveis e representativos foram sugeridos para classificação dos desenvolvimentos urbanos (LI et al., 2009).

Em relação a área de edificações, uma metodologia preditiva realizou a identificação e a avaliação dos aspectos ambientais em edifícios na Europa através do uso de um modelo matricial com seleção de critérios ambientais (GANGOLELLS

et al., 2009). Também, uma ferramenta com uso da internet foi criada para construção de *benchmark* de avaliações ambientais (CHEUNG et al., 2004). Em seguida, novas pesquisas utilizaram métodos de apoio da decisão multicritérios para ponderar, classificar, medir e avaliar questões ambientais na indústria da construção civil aplicadas aos edifícios (EOM; PAEK, 2009; RUIZ; FERNÁNDEZ, 2009; SHEN et al., 2005; TAM; TAM; TSUI, 2004; TAM et al., 2006). Com intuito de fornecer uma contribuição teórica e conceitual, um sistema de processos foi recomendado para permitir a descrição, medição e avaliação de vários aspectos de desempenho do edifício por pesquisadores da Alemanha (LÜTZKENDORF; LORENZ, 2005).

Apesar das importantes produções científicas da primeira década do século XXI, houve ausências de publicações em países em desenvolvimento, pois os conhecimentos e experiências pertenceram a centros de pesquisas dos países possuidores das maiores economias do mundo, conforme figura 9.

Figura 9 – Linha do Tempo das Publicações de Metodologias de Avaliações Ambientais de 2000 –



Fonte: Autor, 2021.

A partir de 2010 surgiram novas avaliações ambientais – precisas e rigorosas - para infraestrutura. Uma metodologia para identificar indicadores de sustentabilidade estabelecendo uma importância relativa entre os indicadores existentes foi proposta (FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, 2010). E no ano seguinte, critérios de sustentabilidade foram priorizados para aplicação nos processos de planejamento urbano, considerando apenas opiniões das partes interessadas (WALLBAUM; KRANK; TELOH, 2011). Com intuito de minimizar impactos ambientais, foi elaborado um modelo para seleção de métodos construtivos (OZCAN-DENIZ; ZHU, 2016).

Em 2016, um método quantitativo de avaliação da eficácia dos indicadores ecológicos, com base em três pilares: grau de ligação, cobertura e representação, foi proposto (LIN et al., 2016). Diante da lacuna da dimensão social na sustentabilidade, um sistema de indicadores sociais para megaprojetos foi recomendado (LIN et al., 2017). Os megaprojetos proporcionaram impactos ambientais significativos, portanto houve necessidade de se avaliar os níveis de sustentabilidade (AKBARI; KHANZADI; GHOLAMIAN, 2018; HOSSEINI et al., 2017; JANG; LEE; HAN, 2018; KRAJANGSRI; PONGPENG, 2017).

Na Austrália foi proposto um modelo para analisar quantitativamente os impactos ambientais, o custo da mitigação e o tempo de ocorrência em duzentos projetos de construções de Infraestrutura (ANDRIĆ et al., 2019). Ainda em 2019, um método para a avaliação de risco à saúde advindo do material particulado em suspensão promovido pelas atividades de infraestrutura foi oferecido como uma ferramenta de tomada de decisão para uma empresa de construção (JUNG et al., 2019). Em 2020, uma metodologia aplicada na fase pré-construção avaliou quantitativamente dez aspectos ambientais oriundos de seis atividades de infraestrutura (ARAÚJO et al., 2020b). Atualmente, uma abordagem direta e replicável foi identificada na literatura para quantificar serviços do ecossistema urbano (LONSDORF et al., 2021).

O desenvolvimento das pesquisas direcionadas a edificações, entre 2010 a 2021, incluíram a dimensão social, onde um modelo de avaliação ambiental utilizando Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para processos de construção foi considerado para avaliar os danos à saúde humana (LI; ZHU; ZHANG, 2010). E um método foi proposto para investigar os impactos na saúde das pessoas causados pelos projetos de construção (MEDINECKIENĖ; TURSKIS; ZAVADSKAS, 2010). Sob o mesmo ponto de vista, avanços foram observados em pesquisas que incluíram as preocupações das partes interessadas e grau de risco de segurança do trabalhador (GANGOLELLS et al., 2011, 2013).

Um modelo causal de identificação dos impactos ambientais foi sugerido a fim de relacionar as causas dos impactos ambientais às atividades construtivas, (FUERTES et al., 2013). As propostas de metodologias quantitativas de aspectos ambientais, até o presente momento, evoluíram relacionando critérios ambientais, como orçamento e quantidade de forma objetiva e o critério severidade de forma subjetiva utilizando matrizes para integração dos cálculos (BORJA et al., 2018).

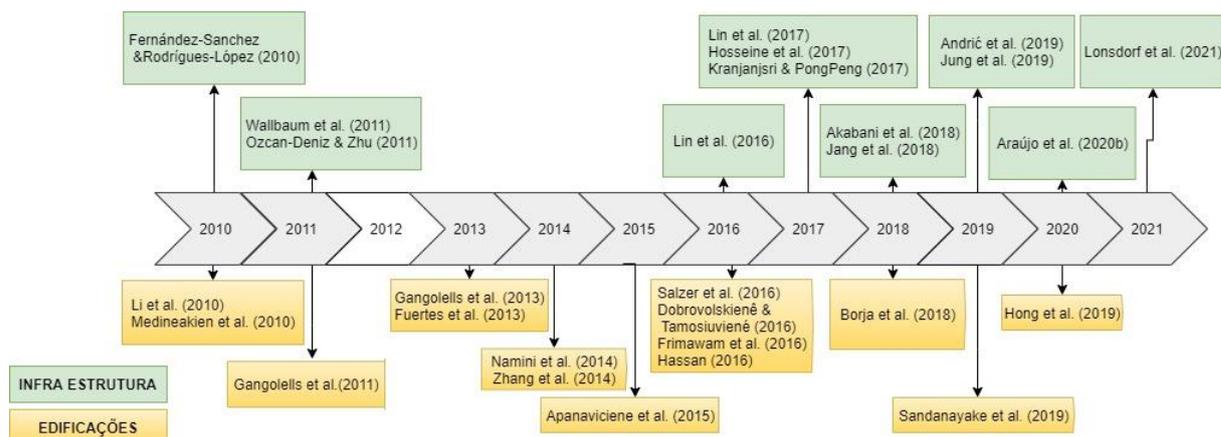
Uma ferramenta de avaliação de sustentabilidade baseada em critérios para edifícios residenciais no Irã quantificou ambientalmente as edificações (NAMINI et al., 2014). Em 2014, uma pesquisa desenvolveu um método eficaz para modelar e avaliar variáveis complexas, dinâmicas e de interação não-linear com uso de simulação computacional (ZHANG et al., 2014). E dois anos depois, um modelo de avaliação específica para habitações sociais aplicando o processo de desenvolvimento de múltiplas perspectivas foi elaborado (SALZER et al., 2016).

Um índice para identificar aspectos ambientais na fase pré-construção (estudo de viabilidade) demonstrou a importância da identificação precoce das questões ambientais e ajudou as tomadas de decisões das fases/etapas posteriores (APANAVIČIENE et al., 2015). Outro índice para medir a sustentabilidade foi oferecido, porém calculado em fases tardias dos projetos (DOBROVOLSKIENĖ; TAMOŠIŪNIENĖ, 2016). E lacunas referentes ao local da construção foram preenchidas por um índice do local de construção denominado *Green Construction Site Index* (GCSI) (FIRMAWAN et al., 2016). Diante da criação de vários índices, um índice composto foi utilizado para avaliar a sustentabilidade de um edifício, e o classificou o desempenho de sustentabilidade da edificação (HASSAN, 2016).

As pesquisas sobre avaliações ambientais em edificações são continuamente publicadas. Em 2019, uma ferramenta de tomada de decisão para estimar os impactos ambientais e emissões nos canterios de obras foi apresentada para empreiteiros do setor (SANDANAYAKE et al., 2019). Em 2020, uma pesquisa teve como objetivo de determinar índices de monitoramento em tempo real de poluentes ambientais no canteiro de obra de um conjunto habitacional multifamilias (HONG et al., 2020).

Diferente da primeira década, este segundo momento apresentou uma produção científica significativa, demonstrando a crescente importância e necessidade de criação de metodologias de avaliações ambientais em projetos de construções, conforme figura 10.

Figura 10 – Linha do Tempo das Publicações de Metodologias de Avaliações Ambientais de 2010 - 2021



Fonte: Autor, 2021.

Os estudos ligados às propostas de desenvolvimento de metodologias quantitativas na avaliação dos aspectos ambientais e/ou sustentabilidade na construção civil foram analisados, e verificou-se uma nítida bifurcação dos estudos. Uma parcela dos pesquisadores exploraram o setor da infraestrutura (estradas, pontes, megaprojetos, desenvolvimento urbano) e outra o setor imobiliário (habitação multifamiliares e unifamiliares, instalações comerciais).

Os artigos, referentes às metodologias quantitativas de avaliação, identificados na revisão sistemática da literatura estão distribuídos em seis tipos de atividades e/ou produtos de construção e suas quantidades estão normalizadas e apresentadas no polígono (figura 11), onde os vértices representam as atividades e/ou produtos e os raios são as quantidades normalizadas de artigos.

Pode-se verificar que o maior número de publicações foi na área de habitações multifamiliares, possivelmente pela facilidade de coleta dados e padronização das operações. Já, os projetos de infraestrutura linear não foram facilmente avaliados (FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, 2010), pois em cada etapa da obra as condições ambientais são singulares. Também, a ausência de dados e pouca transparência nas informações foram os desafios relatados para o desenvolvimento da sustentabilidade na indústria da construção (BANIHASHEMI et al., 2017). A figura 11 apresenta uma comparação das publicações sobre metodologias quantitativas de sustentabilidade na construção civil de acordo com os tipos de atividades e/ou produtos desenvolvidos pela engenharia.

Figura 11 – Comparação das Metodologias Quantitativas da Sustentabilidade por Tipo



Fonte: Autor, 2021.

As metodologias preditivas de avaliação dos aspectos ambientais que foram desenvolvidas mediram o critério de severidade com base na percepção de painéis de especialistas e/ou indicações subjetivas dos autores, diante de adoção de escalas intervaladas e/ou métodos de apoio à decisão multicritérios. Estes relatos foram os primeiros avanços marcantes dos aspectos ambientais nos projetos de construções.

As questões relacionadas às avaliações ambientais apresentaram imprecisões (JOHNSTON; HUTCHISON; SMITH, 2000), pois a maioria dos sistemas de avaliação da sustentabilidade sofreram com a falta de contextualização em suas abordagens e falta de rigor metodológico (NAMINI et al., 2014). Quando se tratam das avaliações dos impactos ambientais, estas são pouco precisas, pois com muita frequência são provenientes de questionários baseados em percepções (AKBARI; KHANZADI; GHOLAMIAN, 2018). Além disso, os aspectos ambientais devem ser continuamente atualizados, entretanto, seu processo de identificação está associado a dificuldades e confusões (ZOBEL; BURMAN, 2004). Assim, a identificação e classificação dos sistemas de indicadores é fundamental para avaliação da eficácia dos aspectos ambientais (LIN et al., 2017).

Os critérios de avaliação de infraestrutura sustentável podem variar de acordo com o tipo e a localização de um projeto (KRAJANGSRI; PONGPENG, 2017), além disso os participantes dos projetos podem ter opiniões diversas sobre os critérios de avaliação (FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, 2010). Um modelo de trabalho deve ser desenvolvido para avaliar a sustentabilidade de projetos de infraestrutura de forma flexível aos ajustes dos critérios com suas respectivas importâncias. Mas são necessários dados para auxiliar no desenvolvimento, uma vez que novos bancos de dados fornecerão mais evidências (LÜTZKENDORF; LORENZ, 2005). Gangoells et al. (2009), por sua vez, sugeriram o desenvolvimento de pesquisas que implementassem metodologias em sistemas de gerenciamento de conhecimento e informações baseado na *Web* utilizando bancos de dados.

As metodologias quantitativas de avaliação preditiva da sustentabilidade habitacional devem considerar resultados da avaliação da infraestrutura local, tais sistemas de avaliações devem integrar na prática as duas tipologias de construção (infraestrutura e habitacional), portanto devem ser avaliados conjuntamente, pois o produto habitacional da construção civil é implantado apenas onde existe infraestrutura.

Através da análise da literatura, evidenciou-se que alguns aspectos ambientais não são profundamente investigados, e que possuem poucos estudos e estão concentrados em: Contaminação-Alteração do Solo; Poluição Sonora; Impactos Arqueológicos e Vibrações, correspondendo a 1,09%; 0,12%; 0,12% e 0,00% do total analisado. As disputas judiciais relacionadas ao meio ambiente aumentaram nos canteiros de obras da Coréia do Sul, também foi verificado que em 86,6% dos casos os litígios foram relacionados a ruído e vibração, e 7,9% foram referentes a poluição do ar, 3,5% poluição da água, 06% poluição marinha e 1,3% outros problemas (EOM; PAEK, 2009).

Alguns aspectos ambientais são estudados profundamente, e outros negligenciados, sugerindo que as metodologias quantitativas de avaliação da sustentabilidade na construção, que fazem uso de opiniões de especialistas para identificar e avaliar indicadores de sustentabilidade, podem conter imprecisões significativas. A comunidade científica na área da construção civil necessita de aprofundamento do conhecimento de todos os aspectos ambientais gerados por suas atividades, a fim de obter uma base científica sólida para identificação, avaliação e julgamento dos aspectos ambientais em projetos.

Existem diversos artigos que analisam impactos ambientais utilizando metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida através da utilização das ISO 14040/1998; 14042 e 14043/2000 quantificando a necessidade de recursos, emissões, energias e resíduos através das entradas (matéria-prima e energia), limites do sistema (ciclo de vida) e saídas (emissões e lançamentos).

Finalmente, com exceção da China, percebe-se também uma limitação de estudos acadêmicos em países em desenvolvimento, bem como avaliações de habitações unifamiliares, e desproporção dos estudos referentes aos tipos de aspectos ambientais, onde houve uma predominância de estudos em Resíduos e lacunas na investigação de Energia emitida (vibrações).

É evidente a necessidade de pesquisas direcionadas ao preenchimento das lacunas existentes no âmbito da construção civil, inclusive em países em desenvolvimento. A criação de metodologias preditivas, numa fase precoce do projeto de construção, promoverá redução dos impactos ambientais e aumento da sustentabilidade global.

Em resumo, as metodologias de avaliações ambientais progressivas avaliaram os aspectos ou impactos ambientais correspondentes das atividades construtivas de forma subjetiva. O setor habitacional foi o segmento que teve mais metodologias desenvolvidas para avaliações ambientais de suas atividades. Porém, os exemplos anteriores utilizaram julgamentos subjetivos, com base na percepção de especialistas, para mensurar o critério severidade dos aspectos ambientais.

2.6 METODOLOGIAS PARA IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS DOS ASPECTOS AMBIENTAIS

O desenvolvimento urbano, como um processo sócio-econômico complexo, transforma o ambiente natural em construído (UN-WUP, 2018) e causa impacto ambiental negativo por meio da poluição, mudança na superfície da terra e calor (HONECK et al., 2020; TEPANOSYAN et al., 2021). Essas mudanças geram aspectos ambientais como consumo de recursos naturais, resíduos, emissões de gases e ruídos (BORJA et al., 2018). Várias metodologias foram propostas para quantificar e avaliar os fatores causais dos aspectos ambientais na construção civil (ANDRIĆ et al., 2019; ARAÚJO; CARNEIRO; PALHA, 2020b; BORJA et al., 2018; FUERTES et al., 2013; VANEK, 2002) e ajudaram a construir *benchmarking* de diferentes projetos em

abordagens mais informativas e fáceis de entender (HOMAEI; HAMDY, 2021). Porém, não há uma metodologia que aborde todas as questões ambientais simultaneamente (MUTHUKANNAN; SANKAR; GANESH, 2018), e surge a necessidade da evolução dos modelos anteriores, bem como a integração de pesquisas para preencher as lacunas e melhorar os métodos existentes.

Na China, foi desenvolvida uma metodologia para quantificar a poluição ambiental das obsas de forma automatizada utilizando *MS Project®* (CHEN; LI; WONG, 2000). Outros métodos fortaleceram a importância da quantificação dos impactos ambientais e sugeriram um modelo para criar indicadores de gestão ambiental (FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, 2010; FIRMAWAN et al., 2016). Cao et al. (2018) propuseram um método para verificar as características dos incidentes ambientais com a utilização da gestão de riscos ambientais. Logo, existe uma eminente necessidade do desenvolvimento de modelos capazes de mapear e medir os serviços ecossistêmicos atuais (LONSDORF et al., 2021). O emprego de ferramentas de gestão da qualidade serviram para fortalecer as pesquisas na identificação das causas dos impactos ambientais, tais como: diagrama de causa e efeito (GUERIN, 2014, 2015; KOLAVENTI et al., 2020); sessões de brainstorming e questionários (FORMOSO et al., 2002; LEHTOLA et al., 2008); observação e caracterização do processo de operação local (GUERIN, 2002) e indicadores (NEWMAN, 2006; PAULEIT; ENNOS; GOLDING, 2005).

O diagrama de Ishikawa foi sugerido para solucionar uma situação, onde a meta ou objetivo foi colocado na cabeça do peixe e os fatores contribuintes categorizados na espinha de forma sistemática (BECKFORD, 2002). Para identificação dos efeitos cumulativos dos impactos ambientais, diagramas de rede serviram para analisar a causalidade no contexto das avaliações ambientais (PERDICOÚLIS; PIPER, 2008).

Portanto, a compreensão das variáveis que influenciam as causas dos aspectos ambientais é importante para a elaboração de metodologias preditivas e flexíveis para cada tipo e local de obra. Os modelos preditivos forneceram informações importantes sobre os ecossistemas urbanos e revelaram as características únicas dos planejamentos urbanos (CASANELLES-ABELLA et al., 2021). Os estudos dos fatores causais fornecem análises pró-ativas e reativas aos tomadores de decisões com a possibilidade de melhorar o plano de construção e também minimizar os problemas

durante a construção no canteiro de obras, porém há inexistência de um modelo estritamente objetivo e capaz de analisar os mais importante aspectos ambientais.

2.7 ANÁLISE CRÍTICA DA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A sustentabilidade surgiu na busca de equilibrar as três dimensões: sociais, econômicas e ambientais, mas verificou-se que a indústria da construção civil em diversos países utilizou abordagens tradicionais para avaliar seus projetos fornecendo prioridade à dimensão econômica. Por isso, a indústria da construção civil ficou conhecida como um das maiores poluidoras do mundo (FIRMAWAN et al., 2016).

As regiões no mundo apresentam características específicas ao clima, vegetação, relevo, bens naturais, número de habitantes, índices de desenvolvimento humanos, densidade demográficas, níveis de industrializações e capacidades econômicas. E diversos indicadores de sustentabilidade foram sugeridos retratando realidades e contextos específicos para cada região e/ou centro de pesquisa (JALAEI; JALAEI; MOHAMMADI, 2020).

A identificação de aspectos ambientais em áreas não regulamentadas é mais difícil e deve ser tratada de maneira diferente com os pesquisadores utilizando abordagens orientadas aos processos para identificação na construção civil (ZOBEL; BURMAN, 2004). E fato que o desconhecimento de alguns aspectos ambientais dificulta a identificação das questões ambientais nos processos construtivos, bem como as condições singulares das áreas de construção que aumenta o desafio para o entendimento das questões ambientais nas obras.

A partir da década de 90, paralelamente ao cenário de crescimento da urbanização, entidades governamentais e organizações não-governamentais publicaram normas/regulamentos de gestão ambiental para empresas públicas e/ou privadas. A normatização otimizou o desenvolvimento da gestão ambiental no mundo para conter os efeitos nocivos das construções. As normas ISO 14031 e ISO/TR 14032 forneceram o direcionamento para implantação das avaliações ambientais nas organizações (ISO/TR 14032, 1999; ISO 14031, 2004).

A maioria dos sistemas de certificações para construção civil direcionou-se para questões de consumo de energia, eficiência da água, uso de material e qualidade ambiental interna (CHANG; HSIEH, 2020). E as certificações incluíram ações sustentáveis nas edificações através da adoção de critérios e pontuações (BEZERRA;

OLIVEIRA, 2015), como também auxiliaram e incentivaram a busca pela qualidade e desempenho ambiental dos edifícios (JANG; LEE; HAN, 2018). No entanto, os critérios qualitativos sugeridos pelos sistemas ocorreram dentro do modelo fixo de avaliação. E a subjetividade nas auditorias, através das percepções dos auditores internos e externos para preenchimento dos *checklists* padrões, forneceram imprecisões nos resultados. Os sistemas de certificações abordaram basicamente duas dimensões da sustentabilidade: ambiental e social, como exemplo o sistema de certificação Selo Casa Azul, concebido pelo banco público brasileiro Caixa Econômica Federal e aceito em larga escala pela comunidade construtiva brasileira (BEZERRA; OLIVEIRA, 2015).

Diante dos questionamentos dos resultados das auditorias, buscaram-se formas de se prever os aspectos ambientais através do desenvolvimento de metodologias de avaliações ambientais mais quantitativas, e facilmente adaptáveis na fase de elaboração do projeto. Conforme Chen; Li; Wong (2005), apenas 2% dos documentos encontrados nos bancos de dados da Sociedade Americana de Engenharia Civil e Compendex Ei trataram do desenvolvimento de métodos quantitativos em gestão ambiental para construção civil, e 98% dos trabalhos foram descritivos e exploratórios. Quinze anos depois, Araújo et al. (2020a) investigaram a base de dados da *Web of Science* e identificaram que 2,54% dos artigos propuseram métodos quantitativos de avaliação ambiental que utilizaram painéis de especialistas para os julgamentos das pontuações nas avaliações.

As lacunas – inexistência da quantificação do critério severidade e identificações dos fatores causais dos aspectos ambientais, ambos de forma objetiva - foram observadas na literatura pesquisada da *Web of Science* de 1945 a 2021. As propostas de metodologias quantitativas de aspectos ambientais, até o presente momento, relacionaram alguns critérios ambientais, como orçamento através da quantidade de forma objetiva, e o critério severidade de forma subjetiva – ao medir o critério de severidade com base na percepção de painéis de especialistas e/ou indicações subjetivas dos autores - através de adoção de escalas intervaladas, utilizando matrizes para integração dos cálculos (BORJA et al., 2018).

É evidente a necessidade de pesquisas direcionadas ao preenchimento das lacunas existentes no âmbito da construção civil, inclusive em países em desenvolvimento. Por isso, incentivar o desenvolvimento de novas metodologias preditivas a fim de resolver os desafios ambientais do setor da construção se faz

necessário. Estas metodologias deverão ter critérios estritamente objetivos e estatisticamente validados, deverão ser de fácil aplicabilidade nas obras da construção civil e gerar resultados que promovam informações que possibilitem tomada de decisões capazes de reduzir a degradação ambiental, os impactos sociais e a minimização de custos em obras, ressaltando a importância de que os projetos deverão conter dados e informações precisas.

Finalmente, a ampliação do método de quantificação objetiva para a identificação das causas dos aspectos ambientais fornecerá uma visão preditiva das causas das atividades construtivas no meio ambiente. Pois, a impossibilidade de gerenciar o que não se conhece, ou o que não se pode medir, pode proporcionar consequências negativas na gestão. A compreensão dos aspectos ambientais nas dimensões quantitativas e qualitativas suprem lacunas e revela possibilidades de reduzir, minimizar, mitigar e/ou eliminar os futuros impactos ambientais das atividades construtivas. A indústria da construção apresenta reais possibilidades de melhorar sua *performance* ambiental, ampliando as investigações aos aspectos ambientais, pois o impacto ambiental pode ultrapassar as fronteiras geográficas das regiões onde ocorrem as obras e provocar desequilíbrio global afetando toda a cadeia produtiva da construção.

3 DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO PREDITIVO DE AVALIAÇÃO DE ASPECTOS AMBIENTAIS

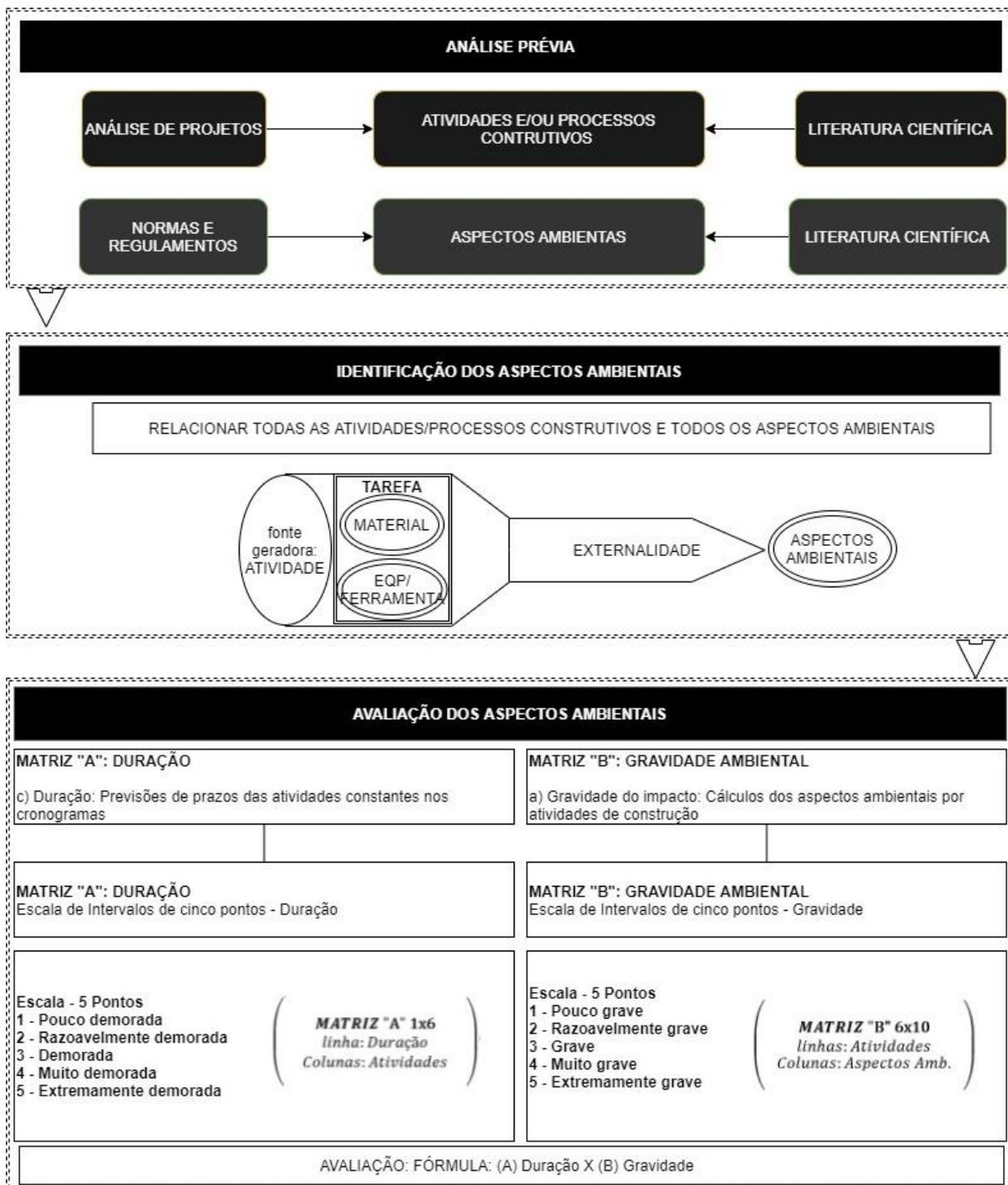
Foi desenvolvido um modelo matricial com dois critérios ambientais - severidade e duração - para análise de dez aspectos externalizados por seis atividades construtivas de infraestrutura urbana. Para definição dos valores de alguns aspectos ambientais do critério severidade, foram utilizadas fórmulas 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 três itens: análise prévia, identificação e avaliação dos aspectos ambientais. Na análise prévia, houve definição das atividades construtivas e dos aspectos ambientais. Para a identificação dos aspectos ambientais, as fontes geradoras (atividades construtivas) foram analisadas em suas composições de serviços.

Na avaliação dos aspectos ambientais, os dois critérios severidade 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 dos critérios duração e severidade.

Finalmente, foram analisados dez aspectos ambientais ocorridos nas seis atividades construtivas de três projetos de infraestrutura urbana. Este método foi importante para auxiliar as partes interessadas nas decisões relacionadas as atividades construtivas e seus aspectos ambientais, de forma objetiva, sem interferência da percepção das partes interessadas no processo (figura 12).

Figura 12 – Proposta de Metodologia de Avaliação de Aspectos Ambientais



Fonte: Autor, 2021.

3.1 ANÁLISE PRÉVIA

As pesquisas 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 especificidade desta proposta.

3.1.1 Atividades e/ou Processos Construtivos

As atividades e/ou processos construtivos foram avaliados e eleitos baseado na literatura científica e nos casos reais (Projetos A, B e C). Foi elaborada uma Estrutura Analítica de Projetos (EAP), com base nos resultados da fase pré-identificação e foram definidos as atividades e/ou processos construtivos da EAP descritos no quadro 5.

Quadro 5 – Estrutura Analítica da Infraestrutura

ETAPA	ATIVIDADES E/OU PROCESSO CONSTRUTIVO	UNIDADE DE MEDIDA
ETAPA 1	MARCAÇÃO TOPOGRÁFICA	unid.
ETAPA 2	LIMPEZA DO TERRENO	m ²
ETAPA 3	TERRAPLENAGEM	m ³
ETAPA 4	SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL	m
ETAPA 5	SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	m
ETAPA 6	SISTEMA DE ESGOTO	m
ETAPA 7	SISTEMA DE ENERGIA ELÉTRICA	m e unid.
ETAPA 8	PAVIMENTAÇÃO EM ASFALTO	m ²
ETAPA 8	PAVIMENTAÇÃO EM PARALELEPÍPEDO	m ²
ETAPA 9	MEIO-FIO PRÉ MOLDADO (0,07X0,30X1,00)	m
ETAPA 9	MEIO-FIO DE PEDRA GRANÍTICO	m
ETAPA 10	PAISAGISMO	m ²
ETAPA 11	CONSTRUÇÃO DE PRAÇAS	unid.

Fonte: Autor, 2021.

Para construção desta metodologia, adotou-se os níveis de decomposição que obtiveram maiores precisões das informações, bem como atividades padronizadas pelo setor de desenvolvimento urbano. Observou-se onze atividades rotineiras demonstradas no **Quadro 5**. Como também, o caso real foi um elemento mandatório na seleção das atividades e/ou processos construtivos para aplicação na proposta e das onze etapas identificadas na pesquisa, seis etapas existiram no caso real com informações relevantes e foram selecionadas para esta metodologia.

3.1.2 Aspectos Ambientais

Houve a identificação na literatura científica de treze categorias decompostas em vinte e oito aspectos ambientais. Foram divididos em aspectos ambientais de primeiro grau (categorias), em seguida foram classificados em aspectos ambientais de segundo grau resultante da decomposição dos aspectos ambientais de primeiro grau. Além disso códigos foram estabelecidos para aspectos ambientais de primeiro e segundo grau. Por conseguinte foram quantificados para elaboração do quadro 6.

Quadro 6 – Aspectos Ambientais na Indústria da Construção Civil

Cód. 1º GRAU	CATEGORIA - Quantidade de citações	Cód. 2º GRAU	ASPECTO AMBIENTAL - Quantidade de citações	
I 1	EMISSÕES PARA O AR	51	<p>POLUIÇÃO DO AR (GERAL)</p> <p>Referências: (APANAVIČIENE et al., 2015; BORJA et al., 2018; CHEUNG et al., 2004; FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, 2010; ISO 14001, 2004; ISO 14004, 2007; ISO 21929-1, 2011; JANG; LEE; HAN, 2018; LI et al., 2009, 2016; LI; ZHU; ZHANG, 2010; LOPES; QUEIROZ; REIS, 2012; MEDINECKIENE; TURSKIS; ZAVADSKAS, 2010; SHEN et al., 2005; TAM; TAM; TSUI, 2004; YU et al., 2018)</p>	16
			<p>EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA (NOCIVOS)</p> <p>Referências: (CHEN; LI; HONG, 2004; CHEN; LI; WONG, 2000; DING, 2008; DOBROVOLSKIENĖ; TAMOŠIŪNIENĖ, 2016; EMAS, 2001; GANGOLELLS et al., 2009, 2013; HASSAN, 2016; LI et al., 2009; LI; ZHU; ZHANG, 2010; MENEZES et al., 2006; RUIZ; FERNÁNDEZ, 2009; SHEN et al., 2005; YU et al., 2018; ZOBEL; BURMAN, 2004)</p>	14
			<p>EMISSÕES DE MATERIAL PARTICULADO (POEIRA)</p> <p>Referências: (BORJA et al., 2018; CHEN; LI; HONG, 2004; CHEN; LI; WONG, 2000, 2005; DING, 2008; DIONE; RUWANPURA; HETTIARATCHI, 2005; EMAS, 2001; GANGOLELLS et al., 2009, 2013; LI; ZHU; ZHANG, 2010; MENEZES et al., 2006; WHITELAW, 2004; ZOBEL; BURMAN, 2004)</p>	13
			<p>ODOR</p> <p>Referências: (CHEN; LI; WONG, 2005; DIONE; RUWANPURA; HETTIARATCHI, 2005; EMAS, 2001; GANGOLELLS et al., 2009, 2013; WHITELAW, 2004)</p>	6
			<p>EMISSÕES DE VOC E CFC</p> <p>Referências: (GANGOLELLS et al., 2009, 2013)</p>	2
I 2	LANÇAMENTOS PARA ÁGUA	36	<p>LANÇAMENTOS /POLUIÇÃO/CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA</p> <p>Referências: (AKBARI; KHANZADI; GHOLAMIAN, 2018; APANAVIČIENE et al., 2015; CHEN; LI; WONG, 2005; CHEUNG et al., 2004; EMAS, 2001; FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, 2010; GANGOLELLS et al., 2009, 2013; ISO 14001, 2004; ISO 14004, 2007; LI et al., 2009, 2016; LI;</p>	21

				ZHU; ZHANG, 2010; LOPES; QUEIROZ; REIS, 2012; MENEZES et al., 2006; RUIZ; FERNÁNDEZ, 2009; SHEN et al., 2005; TAM; TAM; TSUI, 2004; WALLBAUM; KRANK; TELOH, 2011; WHITELAW, 2004; YU et al., 2018)	
			I 2-2	USO DA ÁGUA Referências: (BORJA et al., 2018; CHEN; OKUDAN; RILEY, 2010; DING, 2008; DOBROVOLSKIENĖ; TAMOŠIŪNIENĖ, 2016; ISO 14004, 2007; ISO 21929-1, 2011; JOHNSTON; HUTCHISON; SMITH, 2000; KRAJANGSRI; PONGPENG, 2017; LI et al., 2009; LI; ZHU; ZHANG, 2010; MENEZES et al., 2006; NAMINI et al., 2014; RUIZ; FERNÁNDEZ, 2009; TAM et al., 2006; YU et al., 2018)	15
I 3	LANÇAMENTOS PARA O SOLO	33	I 3-1	ALTERAÇÃO DO SOLO (IMPACTOS VISUAIS, PAISAGISMO, LUZ) E USO DO SOLO Referências: (APANAIVIČIENE et al., 2015; BORJA et al., 2018; CHEN; OKUDAN; RILEY, 2010; CHEN; LI; WONG, 2000; DING, 2008; DIONE; RUWANPURA; HETTIARATCHI, 2005; EMAS, 2001; FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, 2010; GANGOLELLS et al., 2009, 2013; ISO 14004, 2007; ISO 21929-1, 2011; JOHNSTON; HUTCHISON; SMITH, 2000; LI et al., 2009, 2016; LOPES; QUEIROZ; REIS, 2012; MEDINECKIENE; TURSKIS; ZAVADSKAS, 2010; RUIZ; FERNÁNDEZ, 2009; WALLBAUM; KRANK; TELOH, 2011; WHITELAW, 2004; YU et al., 2018)	21
			I 3-2	LANÇAMENTOS / POLUIÇÃO/ CONTAMINAÇÃO DO SOLO Referências: (AKBARI; KHANZADI; GHOLAMIAN, 2018; APANAIVIČIENE et al., 2015; CHEN; LI; WONG, 2005; EMAS, 2001; FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, 2010; GANGOLELLS et al., 2009, 2013; ISO 14001, 2004; ISO 14004, 2007; LOPES; QUEIROZ; REIS, 2012; MEDINECKIENĖ; TURSKIS; ZAVADSKAS, 2010; SHEN et al., 2005)	12
I 4	USO DE MATÉRIA-PRIMA E RECURSOS NATURAIS	31	I 4-1	USO DE RECURSOS MATÉRIA-PRIMA Referências: (BORJA et al., 2018; CHEN; OKUDAN; RILEY, 2010; CHEUNG et al., 2004; DING, 2008; EMAS, 2001; FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, 2010; FIRMAWAN et al., 2016; GANGOLELLS et al., 2009, 2013; HASSAN, 2016; ISO 14001, 2004; ISO 14004, 2007; ISO 21929-1, 2011; JOHNSTON; HUTCHISON; SMITH, 2000; KRAJANGSRI; PONGPENG, 2017; LI; ZHU; ZHANG, 2010; MEDINECKIENĖ; TURSKIS; ZAVADSKAS, 2010; MENEZES et al., 2006; NAMINI et al., 2014; OZCAN-DENIZ; ZHU, 2016; SALZER et al., 2016; SHEN et al., 2005; TAM et al., 2006; WHITELAW, 2004; YU et al., 2018)	25
			I 4-2	USO DE RECURSOS COMO ENERGIA Referências: (LI; ZHU; ZHANG, 2010; OZCAN-DENIZ; ZHU, 2016; TAM et al., 2006; WHITELAW, 2004)	4
			I 4-3	MATERIAIS DURÁVEIS Referências: (AKBARI; KHANZADI; GHOLAMIAN, 2018; DOBROVOLSKIENĖ; TAMOŠIŪNIENĖ, 2016)	2
I 5	RESÍDUO	31	I 5-1	RESÍDUO (RCC E/OU RCD) Referências: (AKBARI; KHANZADI; GHOLAMIAN, 2018; APANAIVIČIENE et al., 2015; BORJA et al., 2018; CHEN; OKUDAN; RILEY, 2010; CHEN; LI;	21

				WONG, 2000, 2005; CHEUNG et al., 2004; DIONE; RUWANPURA; HETTIARATCHI, 2005; EMAS, 2001; FIRMAWAN et al., 2016; GANGOLELLS et al., 2009, 2013; ISO 14001, 2004; ISO 14004, 2007; ISO 21929-1, 2011; KRAJANGSRI; PONGPENG, 2017; MENEZES et al., 2006; NAMINI et al., 2014; SHEN et al., 2005; TAM; TAM; TSUI, 2004; WHITELAW, 2004)	
			I 5-2	<p>RESÍDUO SÓLIDO (GERAL)</p> <p>Referências: (AKBARI; KHANZADI; GHOLAMIAN, 2018; BORJA et al., 2018; ISO 14001, 2004; ISO 14004, 2007; ISO 21929-1, 2011; KRAJANGSRI; PONGPENG, 2017; LI et al., 2009; MENEZES et al., 2006; RUIZ; FERNÁNDEZ, 2009; YU et al., 2018)</p>	10
I 6	USO DE ENERGIA	23	I 6-1	<p>USO DE ENERGIA</p> <p>Referências: (APANAVIČIENE et al., 2015; BORJA et al., 2018; CHEN; OKUDAN; RILEY, 2010; CHEUNG et al., 2004; DING, 2008; DOBROVOLSKIENĖ; TAMOŠIŪNIENĖ, 2016; FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, 2010; GULTEKIN et al., 2013; HASSAN, 2016; ISO 14001, 2004; ISO 14004, 2007; KRAJANGSRI; PONGPENG, 2017; LI; ZHU; ZHANG, 2010; MENEZES et al., 2006; NAMINI et al., 2014; RUIZ; FERNÁNDEZ, 2009; SHEN et al., 2005; TAM; TAM; TSUI, 2004; WAIDYASEKARA; DE SILVA; RAMEEZDEEN, 2016; YU et al., 2018)</p>	20
			I 6-2	<p>USO DE ENERGIA RENOVÁVEL</p> <p>Referências: (AKBARI; KHANZADI; GHOLAMIAN, 2018; DOBROVOLSKIENĖ; TAMOŠIŪNIENĖ, 2016; HASSAN, 2016)</p>	3
I 7	EMISSÕES SONORA	15	I 7-1	<p>POLUIÇÃO SONORA (RUÍDO)</p> <p>Referências: (BORJA et al., 2018; CHEN; LI; HONG, 2004; CHEN; LI; WONG, 2000, 2005; CHEUNG et al., 2004; DIONE; RUWANPURA; HETTIARATCHI, 2005; EMAS, 2001; EOM; PAEK, 2009; GANGOLELLS et al., 2009, 2013; MENEZES et al., 2006; SHEN et al., 2005; TAM; TAM; TSUI, 2004; WHITELAW, 2004; YU et al., 2018)</p>	15
I 8	ENERGIA EMITIDA	15	I 8-1	<p>VIBRAÇÃO</p> <p>Referências: (BORJA et al., 2018; CHEN; LI; WONG, 2005; EMAS, 2001; EOM; PAEK, 2009; GANGOLELLS et al., 2009, 2013; ISO 14001, 2004; ISO 14004, 2007; LOPES; QUEIROZ; REIS, 2012; MENEZES et al., 2006)</p>	10
			I 8-2	<p>CALOR</p> <p>Referências: (ISO 14001, 2004; ISO 14004, 2007; WHITELAW, 2004)</p>	3
			I 8-3	<p>RADIAÇÃO</p> <p>Referências: (ISO 14001, 2004; ISO 14004, 2007)</p>	2
I 9	EFEITOS BIODIVERSIDADE	15	I 9-1	<p>EFEITOS BIODIVERSIDADE</p> <p>Referências: (AKBARI; KHANZADI; GHOLAMIAN, 2018; CHEN; LI; WONG, 2005; CHEUNG et al., 2004; EMAS, 2001; FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, 2010; GANGOLELLS et al., 2009, 2013; LI et al., 2009, 2016; LOPES; QUEIROZ; REIS, 2012; MENEZES et al., 2006; RUIZ; FERNÁNDEZ, 2009; SHEN et al., 2005; TAM; TAM; TSUI, 2004; WHITELAW, 2004)</p>	15
I 10	QUESTÕES AMBIENTAIS	12	I 10-1	<p>TRANSPORTES</p> <p>Referências: (BORJA et al., 2018; EMAS, 2001; GANGOLELLS et al., 2009, 2013; KRAJANGSRI;</p>	9

	LOCAIS/DA COMUNIDADE			PONGPENG, 2017; MENEZES et al., 2006; SHEN et al., 2005; WALLBAUM; KRANK; TELOH, 2011; WHITELAW, 2004)	
			I 10-2	COMUNIDADE Referências: (ISO 14004, 2007; KRAJANGSRI; PONGPENG, 2017)	2
			I 10-3	IMPACTOS AMBIENTAIS EM ÁREAS VIZINHAS Referência: (KRAJANGSRI; PONGPENG, 2017)	1
I 11	EMISSÕES PERIGOSAS	12	I 11-1	EMISSÕES PERIGOSAS E VAZAMENTOS DE PRODUTOS QUÍMICOS Referências: (CHEN; LI; HONG, 2004; CHEN; LI; WONG, 2005; EMAS, 2001; GANGOLELLS et al., 2009, 2013; HASSAN, 2016; LI et al., 2016; MENEZES et al., 2006; RUIZ; FERNÁNDEZ, 2009; SHEN et al., 2005; WHITELAW, 2004; YU et al., 2018)	12
I 12	ACIDENTES/ INCIDENTES	8	I 12-1	ACIDENTES/ INCIDENTES EM GERAL Referências: (BORJA et al., 2018; CHEN; LI; WONG, 2000; DOBROVOLSKIENĖ; TAMOŠIŪNIENĖ, 2016; EMAS, 2001; GANGOLELLS et al., 2009, 2013; ISO 21929-1, 2011)	7
			I 12-2	INCÊNDIO Referência: (WHITELAW, 2004)	1
I 13	IMPACTOS ARQUEOLÓGICOS	2	I 13-1	IMPACTOS ARQUEOLÓGICOS Referências: (CHEN; LI; WONG, 2005; LOPES; QUEIROZ; REIS, 2012)	2

Fonte: Autor, 2021.

Foi desenvolvido um Índice de Importância Relativa (IIR) dos aspectos ambientais para cada aspecto ambiental de primeiro grau pela razão entre In^0 e $\sum_{In^0=1}^{13} In^0$, sendo In^0 a quantidade de citações da categoria de 1º grau e $\sum_{In^0=1}^{13} In^0$ o somatório da quantidade das citações das treze categorias, conforme **Quadro 6**. Nesta pesquisa foram eleitos os sete primeiros: 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, por serem os de maiores evidências na literatura científica e com capacidade de quantificação objetiva diante das informações dos projetos. Todos os setes aspectos ambientais estiveram presentes na poluição do meio ambiente ocasionada pelos projetos estudados (tabela 1).

Tabela 1 – IIR dos Aspectos Ambientais de 1º Grau

I 1	I 2	I 3	I 4	I 5	I 6	I 7	I 8	I 9	I 10	I 11	I 12	I 13
0,18	0,13	0,12	0,11	0,11	0,08	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,01

Fonte: Autor, 2021.

A elaboração do IIR apresentou decomposição em nove dos treze aspectos ambientais, totalizando vinte e oito aspectos ambientais de segundo grau, onde através do mesmo entendimento foi atribuído um IIR de 2º grau. O cálculo do Índice de Importância Relativa (IIR) dos aspectos ambientais de 2ª grau foi obtido pela razão entre a quantidade de citações do aspecto ambiental de 2º grau e a quantidade de citações da categoria correspondente ao aspecto ambiental em questão, conforme quadro 6. Os aspectos ambientais são: I1-1-Poluição do Ar, I1-2-Emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), I1-3-Partículas Totais em Suspensão (PTS), I1-4-Odor, I1-5-Emissões de Compostos Orgânicos Voláteis, I2-1-Poluição das Águas (PA), I2-2-Use da Água (UA), I3-1-Alteração do Solo (AS), I3-2-Poluição do Solo (PSOLO), I4-1-Use de Recursos e Materia-prima (URMP), I4-2-Use de Recursos como Energia, I4-3-Materiais Duráveis, I5-1-Resíduos (RCD), I5-2-Resíduos Sólidos, I6-1-Use de Energia (UE), I6-2-Use de Energias Renováveis, I7-1-Poluição Sonora (PS), I8-1-Vibração, I8-2-Calor, I8-3-Radiação, I9-1-Efeitos na Biodiversidade, I10-1-Transporte, I10-2-Comunidade, I10-3-Impactos Ambientais em Áreas Vizinhas, I11-1-Emissões Perigosas, I12-1-Acidentes/Incidentes, I12-2-Incêndio, I13-1-Impactos Arqueológicos (tabela 2).

Tabela 2 – IIR dos Aspectos Ambientais de 2º Grau

I i	I i-1	I i-2	I i-3	I i-4	I i-5
I 1	0,31	0,27	0,25	0,12	0,04
I 2	0,58	0,42			
I 3	0,64	0,36			
I 4	0,81	0,13	0,06		
I 5	0,68	0,32			
I 6	0,87	0,13			
I 7	1,00				
I 8	0,67	0,20	0,13		
I 9	1,00				
I 10	0,75	0,17	0,08		
I 11	1,00				
I 12	0,88	0,13			
I 13	1,00				

Fonte: Autor, 2021.

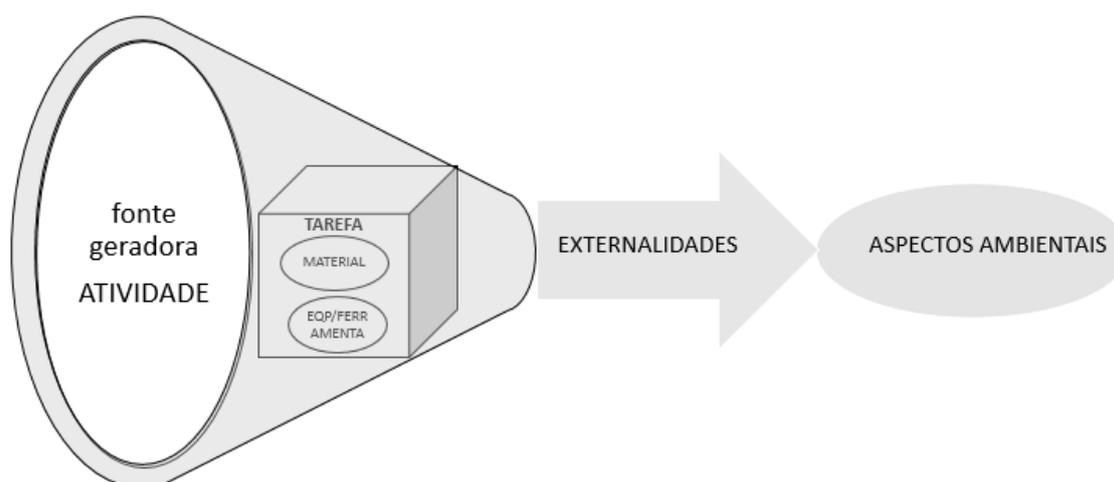
Nesta pesquisa foram adotados os aspectos de maiores proporções, os quantificáveis e com possibilidade de ocorrência no caso real utilizado, com exceção do aspecto ambiental I1-1 Poluição do Ar que foi descartado por tratar-se de aspecto

ambiental genérico. 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) (tabela 2).

3.2 IDENTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS

A identificação dos aspectos ambientais foi realizada, conforme representado na figura 13. A fonte geradora foi identificada (atividade construtiva) pelos documentos dos casos reais, posteriormente associou-se os materiais empregados e equipamentos/ferramentas (composições de orçamento e procedimentos operacionais das empresas) para apontamento das causas, bem como desenvolvimento das tarefas que descreveram “o fazer” e “mão de obra” empregada (procedimentos operacionais das empresas) que demonstrou a forma de execução. Diante das informações obtidas, iniciou-se o reconhecimento das externalidades, onde foram observados as possíveis emissões, lançamentos e gerações para meio ambiente levando em consideração todo fluxo anterior. Nesta pesquisa, registraram-se os aspectos ambientais provenientes das externalidades para cada atividade. Para eliminar a subjetividade na escolha (identificação) dos aspectos ambientais por parte dos examinadores, o autor optou por calcular os dez aspectos ambientais para as seis atividades construtivas, desde que cada atividade construtiva pudesse fornecer as informações necessárias para a quantificação dos aspectos ambientais. Ao se calcular os dez aspectos ambientais, eliminaram-se as possibilidades do não reconhecimento de algum aspecto ambiental através da análise da atividade construtiva. Desta forma, também foi evitada a subjetividade na identificação dos aspectos ambientais.

Figura 13 – Processo de Identificação dos Aspectos Ambientais



Fonte: Autor, 2021.

Um exemplo do relatório de atividade foi elaborado composto da descrição, qual a tarefa, unidade de medida, composição (material, mão de obra e equipamentos/ferramentas), com base na composição e dos procedimentos operacionais registrados no sistema de qualidade da empresa, conforme quadro 7.

Quadro 7 – Exemplo do Relatório de Atividade

ATIVIDADE	DESCRIÇÃO	COMPOSIÇÃO	EXTERNALIDADES	ASPECTOS AMBIENTAIS
Atividade Analisada: SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	Construção do sistema de abastecimento de água	MATERIAL Tubos e conexões; Cola de PVC; ancora pré-moldado para curvas; Vaselina; Areia grossa; Reaterro	Utilização de areia para colchão da vala; Resíduo de solo da escavação e reaterro da vala; Resíduo de Tubos e Conexões de PVC; Resíduo do concreto da construção dos pontos de ancoramento da rede de água (curvas); Sobras de areia; pedaços de concretos dos marcos de ancoragem; Poluição Atm da tarefa (poeira) e emissões de GEE da utilização dos equipamentos e poluição sonora dos eqp/máquinas pesadas.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ I 5-1 RESÍDUO (RCD); ➤ I 4-1 USO DE RECURSOS MATERIA PRIMA; ➤ I 2-1 POLUIÇÃO DAS ÁGUAS; ➤ I 3-1 ALTERAÇÃO DO SOLO; ➤ I 1-2 EMISSÕES DE GEE; ➤ I 1-3 EMISSÕES DE MATERIAL PARTICULADO (POEIRA); ➤ I 7-1 POLUIÇÃO SONORA (RUÍDO);
Tarefa: Escavação mecânica; Nivelamento da base; Colchão de Areia; Instalação de Tubulação e conexões; Reaterro.		MÃO DE OBRA Topógrafo; Operador de Eqp; Servente;		
Unidade de medida da Tarefa:		EQUIPAMENTO/ FERRAMENTAS		

m ou m ³		Retroescavadeira; Compactador manual; Caminhão Pipa ou Pipa reboado por Trator.	➤ I 6-1 USO DE ENERGIA.
---------------------	--	---	----------------------------

Fonte: Autor, 2021.

3.3 AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS

As avaliações dos aspectos ambientais foram complexas para indústria da construção civil. Fatores ambientais externos e tipologia da linha produção incorporaram variáveis que atrapalharam as possíveis correlações. Além disso, as subjetividades das avaliações anteriores tornaram os resultados dos processos de avaliações de aspectos ambientais dependentes das percepções das pessoas que realizaram as avaliações (ZOBEL; BURMAN, 2004). Na etapa de avaliação dos aspectos ambientais foi adotada três bases de cálculos: base de cálculo dos critérios ambientais; base de cálculo das escalas de intervalos dos critérios e base de cálculo da operação matricial.

3.3.1 Base de Cálculo dos Critérios Ambientais

Os critérios ambientais embasaram os modelos de cálculos para quantificação matemática dos aspectos ambientais. A significância é um conceito relativo, não é definido em termos absolutos e sua avaliação envolve aplicação de análise técnica (ISO 14004, 2007), e deve ser revisado rotineiramente. Os critérios ambientais foram obtidos na literatura e compilados perfazendo um total de quinze critérios ambientais.

Os quinze critérios foram examinados, com intuito de obtenção assertivas do critério aplicável a proposta da metodologia, conforme apresentado no quadro 8.

Quadro 8 – Descrição dos Critérios Ambientais

Nº	CRITÉRIOS AMBIENTAIS	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE DE CITAÇÕES
01	Escala do impacto ambiental	Avalia o alcance do possível dano ambiental podendo considerar: local, regional, nacional ou internacional.	09 Referências: (GANGOLELLS et al., 2009, 2011, 2013; ISO 14004, 2007; JOHNSTON; HUTCHISON; SMITH, 2000; LOPES; QUEIROZ; REIS, 2012; MENEZES et al., 2006;

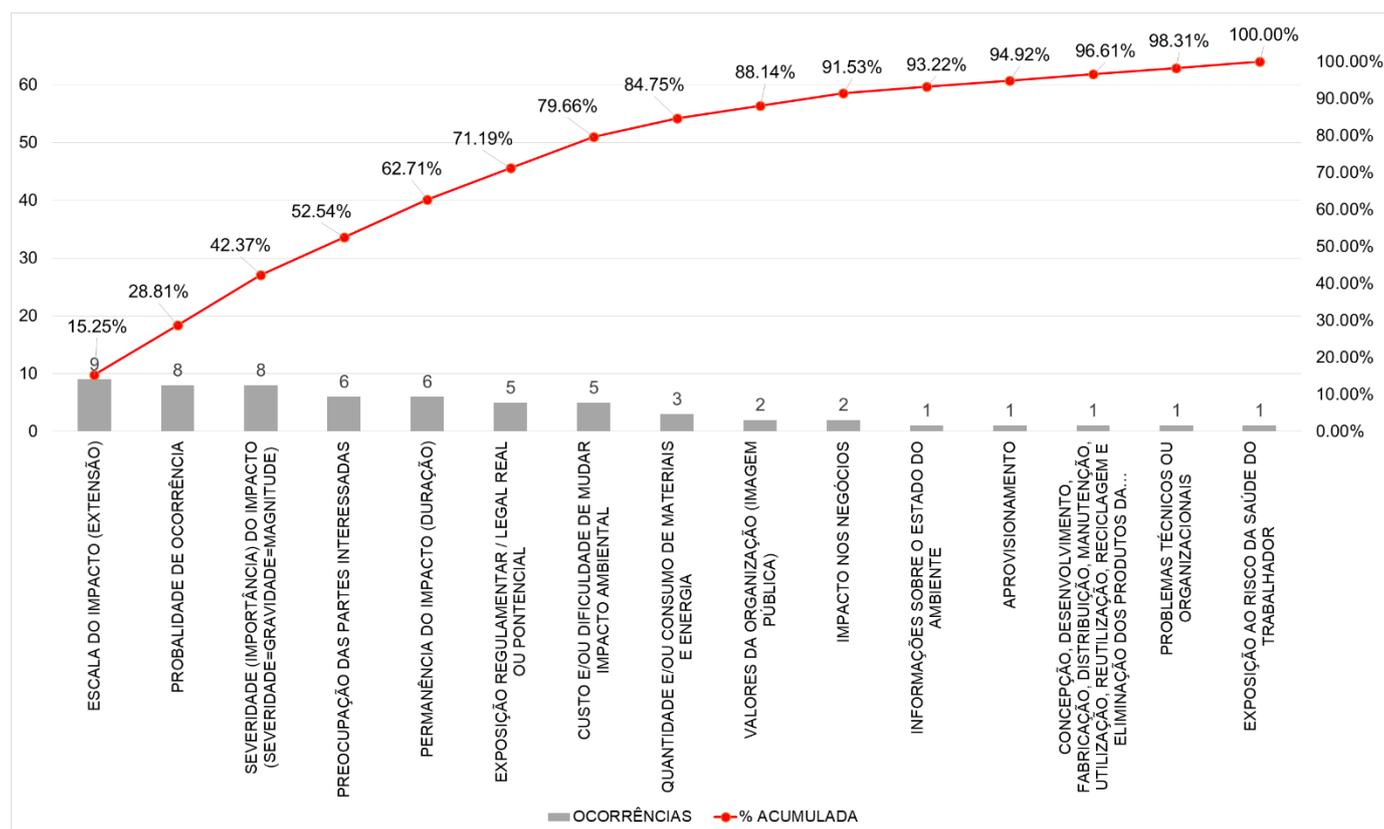
			WHITELAW, 2004; ZOBEL; BURMAN, 2004)
02	Probabilidade de ocorrência	Com base fundamentada na gestão de riscos que analisou o efeito da possibilidade de ocorrência.	08 Referências: (GANGOLELLS et al., 2009, 2011, 2013; ISO 14004, 2007; LOPES; QUEIROZ; REIS, 2012; MENEZES et al., 2006; WHITELAW, 2004; ZOBEL; BURMAN, 2004)
03	Severidade	Denominado também de magnitude, importância e gravidade.	08 Referências: (CHEN; LI; WONG, 2000; GANGOLELLS et al., 2009; ISO 14004, 2007; JOHNSTON; HUTCHISON; SMITH, 2000; LOPES; QUEIROZ; REIS, 2012; MENEZES et al., 2006; WHITELAW, 2004; ZOBEL; BURMAN, 2004)
04	Preocupações das partes interessadas	Julgamento das partes interessadas: vizinhos, operários, organizações, fornecedores entre outros.	08 Referências: (EMAS, 2001; GANGOLELLS et al., 2011, 2013; ISO 14004, 2007; JOHNSTON; HUTCHISON; SMITH, 2000; MENEZES et al., 2006; WHITELAW, 2004; ZOBEL; BURMAN, 2004)
05	Permanência ou duração	Período que durou ou permaneceu o impacto ambiental.	06 Referências: (CHEN; LI; WONG, 2000; GANGOLELLS et al., 2009; ISO 14004, 2007; LOPES; QUEIROZ; REIS, 2012; WHITELAW, 2004; ZOBEL; BURMAN, 2004)
06	Exposição regulamentar/legal ou potencial	Regulamentado por legislação ou norma, onde relacionaram as concentrações dos poluentes.	05 Referências: (EMAS, 2001; ISO 14004, 2007; JOHNSTON; HUTCHISON; SMITH, 2000; WHITELAW, 2004; ZOBEL; BURMAN, 2004)
07	Custo e/ou dificuldade de mudar impacto ambiental	Custo ou a dificuldade de mudar impacto ambiental.	06 Referências: (BORJA et al., 2019; EMAS, 2001; JOHNSTON; HUTCHISON; SMITH, 2000; LOPES; QUEIROZ; REIS, 2012; WHITELAW, 2004; ZOBEL; BURMAN, 2004)
08	Quantidade e/ou consumo de material e energia	Quantidade de poluente das atividades e/ou processo e/ou quantidade do consumo de material e energia.	03 Referências: (EMAS, 2001; ISO 14004, 2007; ZOBEL; BURMAN, 2004)
09	Valor da organização (imagem pública)	Julgamento dos valores agregados da organização diante dos stakeholders direto e indireto.	1 Referência: (ISO 14004, 2007)
10	Impacto nos negócios	Avaliou o impacto ocasionado pela atividade.	2 Referências: (JOHNSTON; HUTCHISON; SMITH, 2000; ZOBEL; BURMAN, 2004)

11	Informações sobre o estado do ambiente	Relatou as informações sobre do meio ambiente local.	1 Referência: (EMAS, 2001)
12	Aprovisionamento	Ligado diretamente a logística reversa.	1 Referência: (EMAS, 2001)
13	Concepção, desenvolvimento, fabricação, entre outros dos produtos da organização	Critério ambiental genérico.	1 Referência: (EMAS, 2001)
14	Problemas técnicos ou organizacionais	Critério identificado no ambiente dos negócios.	1 Referência: (ZOBEL; BURMAN, 2004)
15	Exposição ao risco da saúde do trabalhador	Considerou a dimensão social da sustentabilidade (preocupação com trabalhador)	1 Referência: (GANGOLELLS et al., 2013)

Fonte: Autor, 2021.

O diagrama de pareto apresenta um gráfico de colunas que ordena as frequências das ocorrências dos critérios ambientais, da maior para a menor (VALLE et al., 2010). Neste caso, o princípio de pareto demonstrou que 80% das metodologias utilizaram 50% dos critérios nas propostas de avaliações ambientais. O princípio de pareto, diz respeito à priorização das oportunidades identificadas e classificadas (FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, 2010), neste caso, verificou quais os critérios ambientais foram mais utilizados nas pesquisas. Os quinze critérios foram examinados, com intuito de obtenção assertivas e aplicável à proposta da metodologia. A aplicação da ferramenta apontou para oito critérios. Logo, dois critérios ambientais dos oito (severidade e duração) foram adotados, por dois motivos: capacidade de quantificação objetiva e facilidade de identificação nas documentações da fase pré-construção (figura 14).

Figura 14 – Diagrama de Pareto para os Critérios Ambientais



Fonte: Autor, 2021.

O ciclo de vida dos produtos da construção civil foram divididos em quatro etapas: pré-construção, construção, uso/manutenção e demolição (APANAIVIČIENE et al., 2015; CHEN; LI; HONG, 2004; GENG et al., 2017; RUIZ; FERNÁNDEZ, 2009). E cada etapa foi subdividida em fases por diversos autores que estudaram avaliação de ciclo de vida (GENG et al., 2017). A etapa de pré-construção pode ser subdividida em: iniciação, definição do escopo, identificação dos recursos, desenvolvimento do orçamento, elaboração do cronograma e identificação dos riscos (JABAR; ISMAIL; MUSTAFA, 2013), fases consideradas extremamente importante para o desenvolvimento de metodologias de previsão de impactos ambientais.

Avaliações das infraestruturas civis na fase de planejamento tornaram-se cruciais para a sustentabilidade (JANG; LEE; HAN, 2018). Porém há poucos estudos sobre a integração de aspectos da gestão ambiental principalmente na fase de planejamento da construção (CHEN; LI; WONG, 2005). Durante a fase de planejamento, concentraram-se muitas decisões, tais como: escolhas das tecnologias de construção, equipamentos e materiais, definições das tarefas, layouts do canteiro

de obras, as estimativas dos recursos, previsões dos custos, preparações dos cronogramas dos projetos e identificações das interações (CHEN; LI; WONG, 2005).

A severidade 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 na fase de planejamento, onde cronograma e orçamentos apresentam dados mais fidedignos (figura 15).

Figura 15 – Grau de Precisão dos Critérios Ambientais na Fase Pré-Construção

CRITÉRIOS	PRÉ - CONSTRUÇÃO				
	Fase Iniciação	Fase de Concepção	Fase de Viabilidade	Fase Planejamento	Fase de Projeto
Escala (Alcance)					
Probabilidade					
Severidade					
Duração					
Custo					
Quantidade					
Preocupação Stakeholders					
Exposição					

Fonte: Autor, 2021.

3.3.1.1 Cálculo da Duração das Atividades

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 emissões de: Poluição Sonora; Gases do Efeito Estufa; Partículas Totais em Suspensão. Os três projetos tiveram o mesmo cronograma, denominado de padrão, em virtude do fluxo de caixa e modelo de gestão da empresa.

3.3.1.2 Cálculo da Severidade dos Aspectos Ambientais

Os dez aspectos ambientais estudados foram calculados para mesmas condições de planejamento, dimensionamento e gestão, diante desse princípio as variações impostas pelas características do setor, empresas, obras, fornecedores e

locais foram sanadas. As informações necessárias para as quantificações dos aspectos ambientais foram disponibilizadas no apêndice A.

Os dez aspectos ambientais calculados foram: partículas totais em suspensão (PTS), emissão de gases do efeito estufa (GEE), poluição sonora (PS), alteração do solo (AS), poluição do solo (PSOLO), poluição das águas (PA), uso de recurso e matéria prima (URMP), resíduo da construção e demolição (RCD), uso da água (UA) e uso de energia (UE). A fim de alcançar numericamente os valores das severidades dos aspectos ambientais. Os aspectos ambientais, conceitos e resumo dos cálculos foram descritos no quadro 9, e as informações para as memórias de cálculos das severidades dos aspectos ambientais foram apresentadas na íntegra no apêndice A.

Quadro 9 – Aspectos Ambientais, Conceitos Importantes e Resumo dos Cálculos

Nº	ASPECTOS	CONCEITOS /CÁLCULOS	DESCRIÇÃO
01	<i>PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO</i>	CONCEITOS	Segundo Jung et al. (2019), os canteiros de obras foram considerados os principais contribuintes das emissões de material particulado em áreas urbanas. Conforme USEPA (1998), o material particulado foram classificados: (PM _{2,5}) material particulado com diâmetro aerodinâmico não superior a 2,5 micrometros; (PM ₁₀) material particulado com diâmetro aerodinâmico não superior a 10 micrometros e (PTS) partículas totais em suspensão com diâmetro aerodinâmico não superior a 30 micrometros.
		CÁLCULOS	Os cálculos das partículas totais em suspensão da metodologia foram baseados na pesquisa de Jung et al. (2019), onde foram calculadas as taxas de emissões combustível; de deslocamento e de carga/descarga de material.
02	<i>EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA</i>	CONCEITOS	Hall (2010) afirmou que indústria da construção foi responsável por 47% das emissões de dióxido de carbono no Reino Unido. Para Yim et al. (2018), os fatores de emissões de GEE da fabricação dos materiais de construção forneceram resultados representativos. Akan; Dhavale; Sarkis (2017) relataram que o concreto foi o principal material da construção civil e desempenham papel importante na redução do GEE. Para Sandanayake; Zhang; Setunge (2019), a identificação das emissões na fase de projeto forneceram a opção de reavaliar projeto de construção.
		CÁLCULOS	As descoberta da pesquisa de Yim et al. (2018) sobre as emissões de gases do efeito estufa foram utilizadas nesta metodologia. As emissões incorporadas aos materiais (fabricação) e as emissões de transporte que somadas resultaram no total de emissões de gases do efeito estufa das atividades do estudo de caso. Os fatores de emissões de gases de efeito estufa dos materiais de construção foram extraídos das pesquisas Akan; Dhavale; Sarkis (2017); Yim et al. (2018); Jung et al. (2019); EPA (2016). E fator de emissão de gases do efeito estufa do transporte foi referenciado da publicação de Jung et al. (2019).

03	POLUIÇÃO SONORA	CONCEITOS	Haron; Yahya; Jahya (2012) apontaram que as atividades de construção geraram poluições sonoras excessivas e tornaram extremamente perturbadoras para as áreas próximas e sensíveis. Da mesma forma, Lee; Wang; Lim (2017) associaram à proximidade dos prédios vizinhos aos canteiros de obras com as queixas relativas ao ruído (poluição sonora).
		CÁLCULOS	Foram atribuídas distâncias dos equipamentos (fonte emissora) aos receptores (vizinhança). O cenário foi desenvolvido para a situação mais desfavorável para o impacto sonoro. Aplicou-se a metodologia desenvolvida por Haron; Yahya; Jahya (2012) e alguns dados de emissões de ruídos de equipamentos foram extraídos da publicação de Lee; Wang; Lim (2017).
04	ALTERAÇÃO DO SOLO	CONCEITOS	De acordo com Li et al. (2018), a rápida urbanização resultou no aumento das áreas urbanas construídas, portanto as tensões foram crescentes entre urbanização, áreas abertas, gestão de recursos naturais e qualidade ambiental. No entanto, Qu e Long (2018) afirmaram que transição do uso da terra tornaram ao longo do tempo um importante ramo de pesquisa. Wu et al. (2018) relataram que as mudanças climáticas foram potencializadas pelo alteração do solo.
		CÁLCULOS	O caso específico do aspecto ambiental alteração do solo, alguns trabalhos exploraram de forma qualitativa a mudança física do ambiente natural em construído. Logo, os pesquisadores deste trabalho desenvolveram e adaptaram um índice denominado de Índice de alteração do solo que relativizaram as quantidades de áreas preservadas pelas áreas totais das atividades construtivas (ARAÚJO; CARNEIRO; PALHA, 2020b).
05	POLUIÇÃO DO SOLO	CONCEITOS	A indústria da construção buscou avaliar os materiais não apenas pela composição química, mas também pela liberação (lixiviação) dos componentes químicos e físicos que geram poluição do solo (EIKELBOOM; RUWIEL; GOUMANS, 2001). Na Holanda um decreto especial foi desenvolvido para fornecer critérios de proteção do solo ao usar materiais de construção (DMC, 1995). Para Eikelboom; Ruwiel; Goumans (2001), a poluição do solo deve ser evitada em sua totalidade.
		CÁLCULOS	De fato, os estudos realizados na Holanda resultaram na publicação do Decreto de Materiais de Construção em 1995, bem como o trabalho de Eikelboom; Ruwiel; Goumans (2001) ajudaram estes pesquisadores a definir em 0,01% como valor limite para poluição do solo pela quantidade total de material usado na atividades (ARAÚJO; CARNEIRO; PALHA, 2020b).
06	POLUIÇÃO DAS ÁGUAS	CONCEITOS	Conforme Belayutham; González; Yiu (2016), os sedimentos foram os poluentes mais significativos na poluição das águas, onde as cinco principais causas resumiram o mecanismo envolvido: terra limpa + precipitação = escoamento + erosão + sedimentos.
		CÁLCULOS	As teorias desenvolvidas pela Belayutham; González; Yiu (2016) apoiaram o desenvolvimento de um índice denominado pelos pesquisadores como Índice de poluição das águas. Esta fórmula levou em consideração a vulnerabilidade da gestão da construção (quantidade de área limpa do terreno pela área total do empreendimento), admitindo uma escala para indicar o nível de precipitação pluviométrica.

07	USO DE RECURSOS (MATERIA PRIMA)	CONCEITOS	Giama e Papadopoulos (2015) mencionaram que o grau de sustentabilidade do processo de produção dos materiais foram medidos através de critérios de energia total e emissões. Para Thomas et al. (2017), a metodologia de avaliação do ciclo de vida promulgada pela ISO 14040 (2001) garantiram cuidadosamente a avaliação das cargas ambientais de produtos e serviços da construção civil. Hoxha; Haugen; Bjorberg (2017) avaliaram as percepções dos usuários dos materiais de construção e concluíram que a energia incorporada; a eficiência energética; a durabilidade e o baixo consumo de energia foram elementos importantes na medição da sustentabilidade dos materiais.
		CÁLCULOS	A quantificação dos recursos e matéria-prima utilizados em forma de impacto ambiental foram apoiados na pesquisa de Thomas et al. (2017), que através da metodologia de avaliação do ciclo de vida quantificaram os impactos ambientais dos materiais de construção. Logo, as quantidades dos materiais de construção das atividades foram utilizadas e multiplicadas pelos coeficientes de impactos determinados na pesquisa de Thomas et al. (2017).
08	RESÍDUOS	CONCEITOS	Para Fatta et al. (2003), os resíduos de C&D foram gerados pela ampla gama de materiais. Como resultado, a quantidade substancial de resíduo colocou um fardo pesado no desenvolvimento sustentável das cidades (LI et al., 2016). Fatta et al. (2003) apontaram as atividades de infraestrutura como a grande produtora de resíduos da C&D. Porém, Gangolells et al. (2014) reconheceram que as práticas eficazes de gerenciamento de resíduos podem reduzir os volumes de gerações de resíduos da indústria da construção.
		CÁLCULOS	A metodologia para quantificar os resíduos foi baseada em método percentual baseado na pesquisa de Li et al. (2016). As quantidades de materiais de construção do estudo de caso para cada atividades foram observadas, em seguida uniformizadas para igualar as unidades de medidas em quantidade de peso (toneladas), logo após identificaram os percentuais de desperdícios e finalmente quantificaram a geração de resíduos.
09	USO DA ÁGUA	CONCEITOS	Waidyasekara; De Silva; Rameezdeen (2017) consideraram importante o gerenciamento de recursos hídricos durante a construção, tanto nos estágios de planejamento quanto na execução de um projeto. Do mesmo modo, McCormack et al. (2007) afirmaram que o gerenciamento da água na construção tornou-se imprescindível. Waidyasekara; De Silva; Rameezdeen (2016) consideraram o gerenciamento hídrico das construções como uma área pouco estudada e, conseqüentemente, com poucas informações precisas disponíveis. Entretanto, Waylen (2011) indicaram o consumo de água nos locais de construção como área de estudo prioritária. Segundo Waidyasekara; De Silva; Rameezdeen (2017), o custo da água impulsionaram a eficiência do consumo de água no setor da construção.
		CÁLCULOS	Para calcular o consumo de água do projeto, o autor da pesquisa necessitou de uma ampla nuvem de informações e vários autores contribuíram para o método, tais como: McCormack et al. (2007); Souza; Filho; Neto (2015); Waidyasekara; De Silva; Rameezdeen (2016, 2017); Waylen (2011). O autor da pesquisa calculou a intensidade de água direta e indireta das atividades construtivas. Devido as imprecisões e as faltas das informações do consumo de

			água nos canteiros ficaram de fora os cálculos dos desperdícios de água nos canteiros de obras, dita como uma área aberta para continuidade e/ou futuras pesquisas.
10	USO DE ENERGIA	CONCEITOS	De acordo com Treloar (1997), a energia incorporada foi geralmente definida como a energia consumida em todas as atividades necessárias para apoiar um processo. Treloar; Love; Holt (2001) decreveram energia direta como aquela consumida durante o processo principal e energia indireta aquela consumida para fabricação dos insumos de bens e serviços necessários ao processo principal. Para Paulsen e Sposto (2013), urge uma necessidade de estudos quantitativos de energia na fase pré construção.
		CÁLCULOS	A quantificação do aspecto ambiental energia incorporada foi desenvolvida por vários pesquisadores (PAULSEN; SPOSTO, 2013; TEODORO, 2017; TRELOAR, 1997; TRELOAR; LOVE; HOLT, 2001). Nesta proposta, com base em coeficientes de energia incorporada nos materiais (fabricação) e energia incorporada no transporte, calculou-se a energia total das seis atividades estudadas nos três casos reais.

Fonte: Autor, 2021.

Todas as seis atividades construtivas obtiveram resultados de severidade relacionados aos dez aspectos ambientais. Algumas atividades construtivas não promoveram e/ou suas externalidades foram insignificantes para alguns aspectos ambientais, portanto considerou-se zero, como por exemplo: atividade de instalação de postes pré-moldados para aspecto ambiental “geração de resíduos” considerou-se zero; do mesmo modo, atividade de instalação da tubulação de PVC do sistema de abastecimento de água para aspecto ambiental consumo de água.

Em sequência, os dez aspectos ambientais foram calculados nas seis atividades construtivas: terraplenagem, sistema de drenagem pluvial, sistema de abastecimento de água, sistema de energia elétrica, pavimentação e meio-fio. Os métodos para as quantificações absolutas dos dez aspectos ambientais estão descritos abaixo e serão validados através da aplicação em três casos reais no capítulo V, com as informações disponibilizadas no apêndice A.

3.3.1.2.1 *Partículas totais em suspensão (PTS)*

Os quantitativos do aspecto ambiental Partículas Totais em Suspensão foram calculados através da metodologia apresentada por Jung et al. (2019), onde totalizaram as emissões do consumo de combustível, movimentação dos equipamentos viajando em estradas não pavimentadas e dos carregamentos e descarregamentos de solo em gramas.

Os fatores de emissões foram calculados para os três tipos de emissões (consumo de combustível, deslocamento em estrada não pavimentada, e carga e descarga), conforme sugerido pela *Environmental Protection Agency* (USEPA, 1998). Considerou-se os valores do ano anterior publicados nos sites das agências ambientais locais para as situações ambientais mais desfavoráveis referente ao número de dias de precipitação, ao teor de lodo superficial, ao teor de umidade do material e à velocidade média do vento da região.

As Partículas Totais em Suspensão foram calculadas através das taxas de emissões de PTS para cada volume de solo manipulado nas atividades dos projetos, com base na publicação Jung et al. (2019). O quantitativo total de partículas totais em suspensão de cada atividade foi a soma dos resultados das equações (1), (2), (3) e (4).

Para cada atividade construtiva avaliada foi dimensionada uma frota de equipamentos, dimensionado o volume da movimentação de terra e calculado o consumo de combustível para realização da atividade. O fator de emissão de combustível em gramas por litro foi identificado na pesquisa de Jung et al. (2019).

i) Taxa de Emissão de PTS Consumindo Combustível

$$PTS_{combust.} = FE_{comb\ de\ PTS} \times C_{comb} \quad (1)$$

Onde:

PTS combust.: total de partículas totais em suspensão emitidas pelo consumo de combustível em gramas;

FE_{comb}: Fator de emissão do combustível em gramas por litro;

C_{comb}: Consumo de combustível em litros.

A quantificação da Taxa de emissão de PTS viajando em estradas não pavimentadas foi estabelecida uma distância média de transporte e calculadas as quantidades de materiais transportados pelas atividades construtivas com a utilização das informações dos orçamentos das obras.

ii) Taxa de Emissão de PTS Viajando em Estrada Não Pavimentada

$$PTS_{deslocamento\ (caminhão\ basculante;\ não\ pavimentada)} = FE_{desloc} \times Qtd_{Km} \quad (2)$$

Onde:

PTS_{deslocamento (caminhão basculante; não pavimentada)}: total de partículas totais em suspensão emitidas pelo deslocamento do caminhão basculante em estrada não pavimentada em gramas;

FE_{desloc}: Fator de emissão do deslocamento em gramas por quilometro;

Qtd_{km} : Quantidade de quilometro percorrido por quilometro.

$$PTS_{deslocamento (outros equip; não pavimentada)} = FE_{desloc} \times Qtd_{material} \quad (3)$$

Onde:

$PTS_{deslocamento (outros equip; não pavimentada)}$: total de partículas totais em suspensão emitidas pelo deslocamento de outros equipamentos em estrada não pavimentada em gramas;

FE_{desloc} : Fator de emissão do deslocamento em gramas por quilograma;

$Qtd_{material}$: Quantidade de material em quilogramas.

Em termos da quantificação da Taxa de emissão de PTS para carga e descarga de solo foram identificados nas atividades as quantidades de materiais carregados e descarregados em quilogramas.

iii) Taxa de Emissão de PTS para Carga e Descarga do Solo

$$PTS_{carga e descarga} = FE_{carga e descarrga} \times Qtd_{material} \quad (4)$$

Onde:

$PTS_{carga e descarga}$: Total de partículas totais em suspensão emitidas pelo carregamento e descarregamento de material em gramas;

$FE_{cargaedescarga}$: Fator de emissão de carga e gescarga em gramas por quilometro;

$Qtd_{material}$: Quantidade de material em quilogramas.

3.3.1.2.2 Emissão de gases do efeito estufa (GEE)

Por conseguinte, os quantitativos do aspecto ambiental Emissões de Gases do Efeito Estufa foram medidos através da publicação de Yim et al. (2018), com base na EPA (2016). Os fatores de emissões dos materiais e combustível foram extraídos das publicações de Akan; Dhavale; Sarkis (2017) e Yim et al. (2018) considerou-se o mesmo tipo de combustível para os três casos reais. Excetuando-se o fator de emissão do material (tubulação em *Poly Vinyl Chloride* (PVC) do sistema de abastecimento de água) que foi calculado através do método simplificado de EPA (2016). Primeiramente calculou-se emissões incorporadas aos materiais de construção e em seguida as emissões dos transportes dos materiais, conforme equações (5) e (6), respectivamente:

A equação (5) demonstra a emissão de gases do efeito estufa incorporados na fabricação dos materiais de construção utilizados nas atividades construtivas.

$$GEE_{(material)} = \sum Qtd_{material} \times FE_{gee mat} \quad (5)$$

Onde:

$GEE_{(material)}$: total de emissão de gases do efeito estufa em $KgCO_2e$ incorporado na fabricação do material;

$Qtd_{material}$: Quantidade de material em quilogramas ou metro cúbico;

$FE_{geematerial}$: Fator de emissão de gases do efeito estufa do material em quilograma de dióxido de carbono equivalente por metro cúbico.

Para a equação (6), foram utilizadas as informações do orçamento (quantidades dos materiais transportados) para dimensionar o consumo de combustível em litros em uma distância média de transporte adotada em Km.

$$GEE_{(transporte)} = \sum \left(\frac{Qtd_{material} \times C_{comb} \times Qtd_{Km} \times FE_{gee\ transp}}{5\ m^3\ ou\ 6000Kg} \right) \quad (6)$$

Onde:

$GEE_{(transporte)}$: total de emissão de gases do efeito estufa em $KgCO_2e$ do transporte;

$Qtd_{material}$: Quantidade de material em quilogramas ou metro cúbico;

C_{comb} : Consumo de combustível em litros por quilometros;

Qtd_{Km} : Quantidade de quilometro percorrido por quilometro;

$FE_{gee\ transp}$: Fator de emissão de gases do efeito estufa em $KgCO_2e$ por litro.

3.3.1.2.3 Poluição sonora (PS)

Para obtenção dos valores da Poluição Sonora em decibéis foram aplicados os conhecimentos desenvolvidos da pesquisa de Haron; Yahya; Jahya (2012) com algumas indicações de níveis de pressão sonora dos equipamentos obtidos em Lee; Wang; Lim (2017), conforme equações (7) e (8).

Para aferição das distâncias da fonte ao receptor, nas previsões das poluições sonoras dos casos reais, foram analisadas as imagens aéreas dos casos reais através do *Google Earth*® simulando a menor distância entre a fonte e o receptor. Um exemplo da memória de cálculo da Poluição Sonora do projeto A foi apresentada na íntegra no apêndice B.

A equação (7) foi utilizada para calcular o nível de pressão sonora no receptor por apenas um equipamento e a equação (8) para calcular o nível de pressão sonora de todos os equipamentos utilizados simultaneamente na atividade construtiva. Uma frota dos equipamentos de construção foi especificada para cada atividade construtiva.

$$L_p = L_w - 20 \log_{10} r - 8 + \Delta L \quad (7)$$

Onde:

L_p : nível de pressão sonora no receptor em decibéis;

L_w : nível de pressão sonora na fonte em decibéis;

r : distância da fonte ao receptor em metros;

ΔL : variação do nível de pressão sonora.

$$L_{a\text{ equ}} = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{pn}}{10}} \right) \quad (8)$$

Onde:

$L_{a\text{ equ}}$: nível de pressão sonora combinada dos equipamentos em decibéis;

L_p : nível de pressão sonora no receptor em decibéis.

3.3.1.2.4 Alteração do solo (AS)

Os cálculos para o nível de Alteração do Solo ocasionado pelo projeto urbanístico foram desenvolvidos pelos autores desta pesquisa que sugeriram uma equação simples (Equação 9). O método foi desenvolvido através dos conceitos de Li et al. (2018); Qu e Long (2018); Wu et al. (2018) e elaborado um índice de alteração do solo por Araújo; Carneiro; Palha (2020b) que por sua vez foi adaptado para cada uma das seis atividade dos projetos.

$$AS = \left(\frac{A_{at}}{A_p} \right) * 100 \quad (9)$$

Onde:

AS: alteração do solo em porcentagem;

A_{at} : Área da atividade construtiva em metros quadrados;

A_p : Área de preservação em metros quadrados.

3.3.1.2.5 Poluição do solo (PSOLO)

Nesta metodologia, nesta pesquisa foram consideradas duas atividades construtivas: sistema de drenagem pluvial e meio fio ambas pela fabricação dos elementos em concreto no local. Para a Poluição Do Solo, o cálculo utilizado foi desenvolvido por Araújo; Carneiro; Palha (2020b) e adaptado da pesquisa de

Eikelboom; Ruwiel; Goumans (2001). Considerou-se a razão da quantidade total de material fluido da atividade construtiva pela área total do projeto.

$$PSOLO = \frac{0,01\% * Qtd_{material}}{A_t} \quad (10)$$

Onde:

PSOLO: Poluição do solo em mg/m²;

Qtd_{material}: Quantidade de material em miligramas;

A_t: área total em m².

3.3.1.2.6 Poluição das águas (PA)

A Poluição das Águas foi aferida através da equação (11) desenvolvida na pesquisa de Araújo; Carneiro; Palha (2020b), com base nos conceitos de Belayutham; González; Yiu (2016). Para precipitação local (PI), os autores consideraram o valor máximo da precipitação pluviométrica do ano anterior publicados nos sites das agências ambientais locais. Em sequência, foi elaborada de forma arbitrária uma escala, sendo: PI ≤50 mm (escala 0,2); 50 <PI ≤100 mm (escala 0,4); 100 < PI ≤150 mm (escala 0,6); 150 <PI ≤200 mm (escala 0,8) e PI >200 mm (escala 1).

$$PA = \left[\left(\frac{A_{at}}{A_t} \right) * PI \right] * 100 \quad (11)$$

Onde:

PA: Poluição das águas em porcentagem;

A_{at}: Área da atividade construtiva em metros quadrados;

A_t: Área total do projeto em metros quadrados;

PI: Precipitação local.

3.3.1.2.7 Uso de recurso e matéria-prima (URMP)

Para o Uso de Recursos e Matéria-Prima, o método adotado utilizou avaliação do ciclo de vida (ISO 14040, 2001; ISO 14041, 1998; ISO 14042, 2000; ISO 14043, 2000) que foi aprimorado por Thomas et al. (2017). A terraplenagem foi considerada nula, devido a inexistência de materiais de construções.

$$URMP = Qtd_{material} * Coef. Impacto \quad (12)$$

Onde:

URMP: Uso de recurso e materia prima em impacto total;

$Qtd_{material}$: Quantidade de material em quilogramas ou metro cúbico;

Coef. Impacto (impacto ponderado): Coeficiente de impacto em impacto ponderado por m^3 ou Kg.

3.3.1.2.8 Resíduo da construção e demolição (RCD)

O aspecto ambiental Resíduos da Construção e Demolição foi calculado em toneladas através do estudo de Li et al. (2016). Para esta quantificação, os Resíduos da Construção e Demolição foram calculados pela equação (13), inserindo as quantidades de materiais dos casos reais, e foram utilizados os seguintes índices de perdas dos materiais: Li et al. (2016) para concreto (sistema de drenagem pluvial e meio fio), areia (pavimentação), em Mersiowsky (2002) para tubulação de PVC (sistema de abastecimento de água). Na atividade de terraplenagem o índice adotado foi 100%, haja vista a totalidade do material ter sido o bota-fora do solo.

$$RCD = Qtd_{material} * IP (\%) \quad (13)$$

Onde:

RCD: Resíduo da construção e demolição em toneladas;

$Qtd_{material}$: Quantidade de material em tonelada;

IP: índice de perda em porcentagem.

O material da atividade de pavimentação foi a peculiar pedra de paralelepípedo, a qual é utilizada na região nordeste do Brasil, com ausência do valor do índice de perda nas publicações internacionais. Portanto, o índice foi calculado através da equação (14), onde os autores consideraram a quantidade de pedra de paralelepípedo da composição de serviço como quantidade teórica e a quantidade de pedra de paralelepípedo constante no orçamento como quantidade real.

$$IP (\%) = \left[\left(\frac{Qtd_{material} - QtdT_{material}}{QtdT_{material}} \right) \right] * 100 \quad (14)$$

Onde:

IP: índice de perda em porcentagem;

$Qtd_{material}$: quantidade de material real em toneladas;

$QtdT_{material}$: quantidade de material teórica em toneladas.

3.3.1.2.9 *Uso da água (UA)*

Na metodologia para quantificar o Uso da Água foram consideradas as intensidades de água em litros por m³ para fabricação dos materiais e as intensidades de água em litros por m² ou m³ para execução dos serviços, que foram multiplicadas pela quantidade de material ou serviço (Equação 15), conforme pesquisas de McCormack et al. (2007); Souza; Filho; Neto (2015); Waidyasekara; De Silva; Rameezdeen (2016); Waylen (2011). A intensidade de água da tubulação em PVC do sistema de abastecimento de água foi considerada nula, devido ao processo de fabricação (CHANDA; ROY, 2006).

$$UA = \sum I_n \times Qtd_{material\ ou\ serviço} \quad (15)$$

Onde:

UA: consumo ou uso de água em litros;

I_n : Intensidade de água em litros por m³ ou Kg para materiais (água incorporada na fabricação);

I_n : Intensidade de água em litros por m² para os serviços (água utilizadas nos serviços de compactação do solo nas atividades de terraplenagem e pavimentação);

$Qtd_{material\ ou\ serviço}$: quantidade de material em m³ ou serviço em m².

3.3.1.2.10 *Uso de energia (UE)*

Finalmente, o aspecto ambiental Uso de Energia foi calculado. A energia embutida da atividade que totalizou a soma da energia para produção do material com energia embutida no transporte dos materiais e/ou processo construtivo. O aspecto ambiental UE foi calculado para os materiais e os transportes, conforme Paulsen e Sposto (2013); Teodoro (2017); Treloar (1997); Treloar; Love; Holt (2001). O uso de energia total da atividade foi a soma dos resultados das equações (16) e (17).

Para os cálculos das $EE_{material}$ foram considerados os materiais contidos nas atividades construtivas dos três casos reais. A atividade de terraplenagem foi considerada nula, por não haver fabricação de material.

$$EE_{material} = \sum FEE_i \times Qtd_{material} \quad (16)$$

Onde:

$EE_{material}$: Energia Embutida na fabricação do material em Mj;

FEEi (Mj/Kg): Fator de Energia embutida no material em mega joule por quilograma;
 Qtd_{material}: quantidade de material em Kg.

Para os cálculos das EE_{transp} foram adotados os centros de severidade da área total dos casos reais como distâncias médias de transporte para as atividades construtivas e calculadas as quantidades do deslocamento proporcional a capacidade de transporte dos equipamentos. O consumo energético do transporte de carga em mega joule por tonelada e quilômetros foi obtido da pesquisa de Teodoro (2017).

$$EE_{transp} = \sum Qtd_{material} \times Qtd_{Km} \times CE_{transp}. \quad (17)$$

Onde:

EE_{transp}: Energia Embutida no transporte em Mj;

Qtd_{material}: quantidade de material em toneladas;

Qtd_{Km} (Km): Quantidade de quilometro percorrido por quilometro;

CE_{transp} (Mj/t.Km): Consumo energético do transporte de carga em mega joule por toneladas e quilômetros.

3.3.2 Base de Cálculo da Escala de Intervalos dos Critérios Ambientais

O cálculo da escala de intervalos de cinco ponto foi determinado pela faixa de frequência, calculada pela maior pontuação, menos a menor pontuação e seu resultado dividido 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 18.

$$FI = \frac{MAV - MEV}{5}; \text{ Logo: FI somado a partir do menor valor} \quad (18)$$

Onde:

FI: Faixa de Intervalo;

MAV: Maior Valor;

MEV: Menor Valor.

Whitelaw (2004) reforçou o cuidado na utilização das escalas de intervalos para o desenvolvimento dos sistemas numéricos, pois os números derivados devem fazer sentido diante dos cálculos. Para a base de dados utilizada, a escala de cinco pontos foi a mais adequada para a aplicação na metodologia, indicando precisão, facilidade

e rapidez na resposta. Esta escala ofereceu um ponto neutro, decorrente das escalas ímpares e um nível de confiabilidade adequado.

Para exemplificar a aplicação da escala de intervalo, segue abaixo, as etapas estabelecidas para os cálculos dos intervalos do critério duração. Primeiro, foram identificadas no cronograma as durações das atividades construtivas em dias úteis, sendo: 150 dias para a terraplenagem, 120 dias para o sistema de drenagem, 210 dias para o sistema de abastecimento de água, 150 dias para o sistema de energia elétrica, 600 dias para a pavimentação e 600 dias para o meio-fio. Segundo, foi estabelecida a faixa de intervalo (o maior valor menos o menor valor, dividido por cinco), conforme equação (18), logo: $FI = \frac{MAV - MEV}{5} = \frac{600 - 120}{5} = 96 \text{ dias}$.

Em seguida, foi adotado o menor valor da duração para a escala 1 e somada à faixa de intervalo para cada um dos quatro pontos restantes. Foram distribuídos nos seguintes intervalos: valores com o prazo ≤ 120 dias na escala 1, $120 \text{ dias} < \text{Prazo} \leq 216$ dias na escala 2, $216 \text{ dias} < \text{Prazo} \leq 312$ dias na escala 3, $312 \text{ dias} < \text{Prazo} \leq 408$ dias na escala 4 e prazo > 408 dias na escala 5.

Finalmente, as durações das atividades construtivas foram estabelecidas dentro das suas respectivas escalas: terraplenagem escala 2 (150 dias), sistema de drenagem escala 1 (120 dias), sistema de abastecimento de água escala 2 (210 dias), sistema de energia elétrica escala 2 (150 dias), pavimentação com escala 5 (600 dias) e meio-fio com escala 5 (600 dias), formando assim a matriz A.

Foi utilizada a mesma técnica de cálculo para estabelecimento das escalas de intervalos do critério severidade, diante dos resultados absolutos da severidade de cada aspecto ambiental para as seis atividades construtivas.

3.3.3 Base de Cálculo da Operação Matricial

Os cálculos do nível de impacto ambiental do projeto foram quantificados através da 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. Desenvolveu-se uma fórmula para os cálculos da avaliação ambiental do projeto através de dois critérios ambientais quantificáveis: duração e severidade, 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 “Severidade”, adotou-se as informações de quantidade nos documentos: projetos, orçamentos e planejamentos. As informações do cronograma descrita em prazos das atividades e dados do orçamento, planejamento e projeto foram utilizados como dados de entrada. E através de operações matriciais determinaram as quantificações totais dos aspectos ambientais para caso real utilizado, conforme equação matricial (19).

$$\begin{pmatrix} \dots \\ \vdots \\ \text{MATRIZ "A" } 1 \times 6 \\ \text{linha: Duração} \\ \text{Colunas: Atividades} \\ \vdots \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \dots \\ \vdots \\ \text{MATRIZ "B" } 6 \times 10 \\ \text{linhas: Atividades} \\ \text{Colunas: Aspectos} \\ \vdots \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \dots \\ \vdots \\ \text{MATRIZ "C" } 1 \times 10 \\ \text{Linha: } \sum \text{Valor Total} \\ \text{Colunas: Aspectos} \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (19)$$

Onde:

- MATRIZ “A”: Matriz da duração das atividades diante do cronograma previsto;
- MATRIZ “B”: Matriz da severidade, onde foram calculados todos os aspectos ambientais preditivos por atividade construtiva. Levando em consideração suas quantidades;
- MATRIZ “C”: Quantificação Total do Aspecto Ambiental - Apontaram a pontuação total de cada um dos aspectos ambientais levando em consideração todas as atividades construtivas na referida obra.

3.4 ANÁLISE SUMÁRIA DO MÉTODO

A metodologia preditiva de avaliação dos aspectos ambientais utilizou os critérios de duração e severidade para construir um sistema numérico que alertou antecipadamente os gestores dos projetos sobre a dimensão quantitativa dos aspectos ambientais. Este sistema proporcionou uma reavaliação do plano de construção com o objetivo da minimização dos futuros impactos ambientais na fase pré-construção. Sendo uma fase do ciclo de vida do projeto importante para intervenção do custo, prazo e qualidade dos projetos urbanísticos.

A escolha por desenvolver uma metodologia aplicada na fase pré-construção teve por intenção a mitigação, a redução e a eliminação de impactos ambientais, o que possibilita tempo hábil para a revisão dos projetos, orçamentos e gerenciamento das atividades construtivas antes de seus acontecimentos. Corroborando com De Paula e Melhado, (2018) e Gultekin et al. (2013), que afirmaram que o cumprimento de requisitos sustentáveis são dependentes de soluções gerenciais adotadas pelas

empresas de projetos. Shen et al. (2005) argumentaram que a eficácia do estudo de viabilidade afetou diretamente o sucesso dos projetos. Silva et al. (2017) identificaram a necessidade de especialistas de diferentes áreas para as tarefas de planejamento urbano. Conforme Gharehbaghi et al. (2019), as avaliações precisaram ser elaboradas com cautela para garantir a proteção do ecossistema ao compreender os problemas ambientais urbanos.

Diferentemente de Comello; Lepech; Schwegler (2012), que aplicaram estudos ambientais direcionados aos sistemas de pavimentação no setor de infraestrutura, e de Fernández-Sánchez e Rodríguez-López (2010), que desenvolveram uma metodologia de identificação de oportunidades e indicadores aplicada em projetos de infraestrutura linear, esta pesquisa propôs uma metodologia preditiva aplicada a seis atividades construtivas de infraestrutura urbana, e evitou o uso de indicadores, optando por calcular os aspectos ambientais.

Uma Revisão Sistemática com meta-análise (ARAÚJO; CARNEIRO; PALHA, 2020a) detectou a ausência de consenso na escolha dos aspectos ambientais significativos para construção civil, com diversos aspectos escolhidos por diferentes métodos (APANAVIČIENE et al., 2015; BENTIVEGNA et al., 2002; CHEN; LI; HONG, 2004; CHEN; LI; WONG, 2000; GANGOLELLS et al., 2009; JOHNSTON; HUTCHISON; SMITH, 2000; TAM; TAM; TSUI, 2004). Também as normas apresentaram divergências entre seus aspectos relatados, tais como: EMAS (2009); ISO 14001 (2004); ISO 14004 (2007); ISO 21929-1 (2011). Para exemplificar, a ISO 14004 (2007) sugeriu nove e o EMAS (2009) apontou 16 aspectos ambientais. Portanto, este trabalho criou um modelo próprio e inovador, através do IIR, para acurar a análise crítica, científica e padronizada na identificação dos aspectos ambientais.

Neste estudo, houve a elaboração de um índice de importância relativa (IIR) para identificar e hierarquizar os aspectos ambientais mais citados. Adotou-se aspectos ambientais de segundo grau para evitar a alocação deles em diferentes categorias de aspectos de primeiro grau, e com isso evitou-se repetições. Foram escolhidos dez aspectos ambientais que representaram de forma relevante as externalidades da construção civil. De forma semelhante, Fernández-Sánchez e Rodríguez-López (2010) utilizaram um índice de importância relativa para priorizar escolhas de indicadores, bem como Tam, C. M.; Tam, V. W. Y.; Tsui (2004) que usaram a comparação de pares da importância relativa de critério para selecionar e ponderar subcritérios.

As escolhas dos critérios ambientais passaram por um processo de seleção com uso da ferramenta de gestão denominada de diagrama de Pareto. Esta pesquisa selecionou como critérios representativos: duração e severidade, pois de acordo com os dados de entrada do caso real, puderam gerar informações numéricas dos aspectos ambientais. Autores como Gangolells et al. (2009, 2011); Johnston; Hutchison; Smith (2000); Whitelaw (2004) e Zobel e Burman (2004) selecionaram diferentes critérios ambientais em suas pesquisas para também avaliar os aspectos ambientais. O EMAS (2009) atribuiu a responsabilidade pela definição dos critérios às empresas.

A metodologia proposta neste estudo sugere que há momentos ideais no desenvolvimento do projeto para obtenção das informações. Para exemplificar, o critério escala (alcance) pode ser identificado na concepção. Já, probabilidade na fase de viabilidade com base em projetos similares. E severidade, duração, custo e quantidade ao final da fase de planejamento com informações dos orçamentos, cronogramas e dimensionamentos. Os critérios preocupação dos *stakeholders* e exposição podem ser na fase de projeto com apresentações dos projetos e julgamentos dos envolvidos (figura 15). Discordando de Chen; Li; Wong (2000); Gangolells et al. (2009) e Zobel e Burman (2004) que não especificaram a existência de um momento ideal para obtenção das informações.

Olazabal e Ruiz De Gopegui (2021) certificaram que as metodologias ajudaram a entender e examinar as soluções necessárias para aplicação no desenvolvimento das cidades. Foi confirmado que não podem ser avaliados de forma linear, e esta afirmação fortaleceu o conceito das características específicas da indústria no desenvolvimento de seus produtos: unicidade, singularidade, temporalidade e fatores externos diversos. Corroborando com Rumane (2017) que expressou problemas como atividade personalizada, não rotineira, não repetitiva e localizações diversas para as atividades da indústria da construção. Ratificado também por Woodward (1985) que afirmou que o gerenciamento da construção, seja em projetos ou execução, é significativamente diferente do gerenciamento da maioria das outras indústrias.

4 DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DAS CAUSAS E EFEITOS DOS ASPECTOS AMBIENTAIS

A quantificação da severidade possibilitou o desenvolvimento de um inventário para verificar as variações dos resultados, e finalmente ser realizada a identificação das causas dos aspectos ambientais estudados com uso do diagrama de *Ishikawa*. A etapa dos fatores causais foi dividida em três fases: quantificação, inventário e identificação das causas dos aspectos ambientais (figura 16).

Figura 16 – Sumário das Etapas do Método de Avaliação das Causas dos Aspectos Ambientais

1ª Fase - QUANTIFICAÇÃO	2ª Fase - INVENTÁRIO	3ª Fase - IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS
<ul style="list-style-type: none"> •Quantificação Absoluta dos Aspectos Ambientais. 	<ul style="list-style-type: none"> •Razões Unitárias dos Aspectos Ambientais; •Normalização dos Valores; •Medidas Descritivas. 	<ul style="list-style-type: none"> •Análise da Quantificação; •Análise do Inventário; •Elaboração do Diagrama de Ishikawa.

Fonte: Autor, 2021.

4.1 QUANTIFICAÇÃO

A quantificação absoluta dos aspectos ambientais foi obtidas utilizando as fórmulas de cálculos de metodologias específicas para cada aspecto ambiental (itens 4.3.1.2.1 até 4.3.1.2.10) para todos os três casos reais.

4.2 INVENTÁRIO

A metodologia estabelecida para elaboração do inventário partiu dos valores absolutos das severidades dos aspectos ambientais dos projetos que foram transformados em valores unitários através da divisão dos valores absolutos dos aspectos ambientais pela quantidade da atividade construtiva. Para o aspecto ambiental poluição sonora que devido aos seus resultados terem sido obtidos por uma equação logarítmica na base 10, necessitou da transformação das quantidades das atividades numéricas para logarítmica na base 10. A equação (20) estabeleceu os valores unitários da severidade dos aspectos ambientais (BORJA et al., 2018).

$$G_{aa} = \frac{I'1}{Qa!} \quad (20)$$

Onde:

G_{aa} : representa a severidade do aspecto ambiental por atividade unitária (G_{aa});

$I'1$: simboliza a Intensidade total do aspecto ambiental ($I'1$); e

Qa : demonstra a quantidade total da atividade construtiva pelo unidade de medida correspondente (Qa).

Neste momento, duas etapas foram realizadas: a primeira, a comparação normalizada dos aspectos ambientais entre projetos; e a segunda, foi o desenvolvimento do inventário através das medidas descritivas dos projetos.

Na primeira etapa, as severidades absolutas de cada atividade construtiva foram transformadas em severidades unitárias, os valores obtidos na equação (20) foram normalizados. A severidade do aspecto ambiental total foi dividido pela severidade do aspecto ambiental total máxima das obras, e finalmente seus resultados foram normalizados na faixa de 0 a 1. Isto permitiu a comparação de cada um dos aspectos ambientais entre os projetos. **G aa norm** representa a severidade do aspecto ambiental normalizado em valores unitários, de acordo com equação (22).

Os valores unitários das severidades dos aspectos ambientais das seis atividades construtivas foram somados. Logo, cada aspecto ambiental obteve seu resultado total unitário, conforme equação (21) (BORJA et al., 2018).

$$G_{aa \text{ total}} = \sum_{n=1}^6 G_{aa} \quad (21)$$

Onde:

$G_{aa \text{ total}}$: representa a severidade do aspecto ambiental total em valores unitários; e

G_{aa} : obtido pela soma dos valores da severidade de cada uma das seis atividades analisadas.

Os valores da severidade do aspecto ambiental normalizada em valores unitários foi obtido pela divisão da severidade do aspecto ambiental total pela severidade do aspecto ambiental total máximo comparando os resultados dos três projetos, conforme equação (22) (BORJA et al., 2018).

$$G_{aa \text{ norm}} = \frac{G_{aa \text{ total}}}{G_{aa \text{ total máx}}} \quad (22)$$

Onde:

G aa norm: é a severidade do aspecto ambiental normalizada em valores unitários;
G aa total: é a severidade do aspecto ambiental total para cada projeto;
G aa total máx: é a severidade do aspecto ambiental total máximo comparando os resultados das três obras.

A segunda etapa foi o desenvolvimento do inventário dos aspectos ambientais com base nas medidas estatísticas descritivas, tais como: média, desvio-padrão e coeficiente de variação. A média estatística forneceu uma tendência central, o cálculo do desvio-padrão descreveu a dispersão e ajudou a entender os valores individuais, e por fim o coeficiente de variação permitiu a comparação das variáveis das medidas em unidades diferentes de aspectos ambiental (DOANE; SEWARD, 2011). Para aceitação da média como um indicador, o coeficiente de variação foi analisado. As variações entre 0% e 33,33% foram consideradas “extremamente aceitação”, entre 33,33% e 50,00% “aceitável”, entre 50,00% e 100,00% “pouco aceitável” e finalmente os resultados acima de 100,00% foram considerados “inaceitáveis”.

4.3 IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS

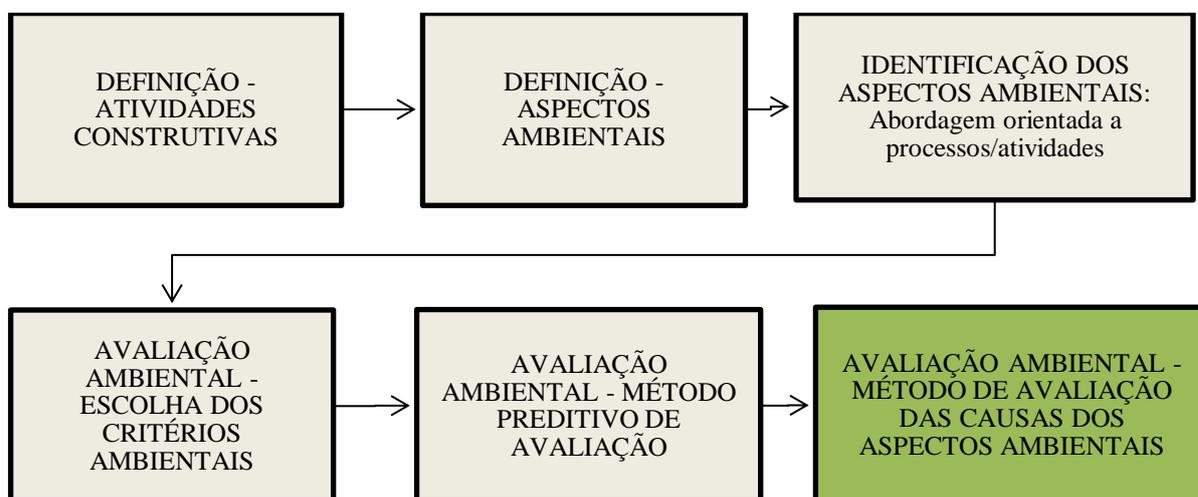
Os dez aspectos ambientais externalizados pelas seis atividades de infraestrutura urbana foram estudados com base nos resultados dos valores absolutos da primeira etapa da metodologia (quantificação), analisados as variações da comparação unitária dos seus resultados e investigados através das medidas estatísticas descritivas da segunda etapa (inventário) para finalmente selecionar e confirmar as causas dos aspectos ambientais. A aplicação do diagrama de *Ishikawa* ajudou a obter de forma organizada, sistemática e objetiva as relações causais das quatro categorias estabelecidas.

O diagrama de *Ishikawa* ou causa e efeito tem como função e objetivo, organizar o raciocínio na identificação de causas dos problemas. As causas dos problemas podem ser classificadas em até seis tipos de categorias: máquinas, materiais, mão-de-obra, meio ambiente, medida e método. Normalmente, as informações para o diagrama são obtidas através de listas de verificação ou por sessões de *brainstorming*. Em particular, neste método, foram utilizadas as informações objetivas contidas nas equações dos aspectos ambientais.

4.4 FLUXOGRAMA COMPACTO DO MÉTODO PREDITIVO DE AVALIAÇÃO E DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DAS CAUSAS E EFEITOS DOS ASPECTOS AMBIENTAIS

Um resumo das macroetapas do método preditivo proposto está apresentado no fluxograma abaixo em oito etapas. As duas primeiras etapas estão as definições das atividades construtivas e definições dos aspectos ambientais. A terceira etapa estrutura uma abordagem orientada a processos/atividades, onde o pesquisador relaciona as atividades construtivas e seus respectivos aspectos ambientais. Na quarta e quinta etapa, apresentam-se o passo – a – passo da escolha dos critérios ambientais e método de avaliação para cálculo dos critérios. Na última etapa (avaliação das causas) foram investigados os resultados absolutos das severidades e desenvolvida uma análise de causa e efeito (figura 17).

Figura 17 – Fluxograma Compacto das Etapas dos Métodos



Fonte: Autor, 2021.

5 RESULTADOS

Os resultados foram divididos nos subitens: 5.1 Caracterização dos casos reais, 5.2 Resultados da Aplicação da Metodologia e 5.3 Análise Sumária dos Resultados.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS CASOS REAIS

Os projetos foram escolhidos por conveniência e suas informações foram utilizadas apenas para a construção do método. Os três projetos de loteamento urbano (casos reais) foram disponibilizados para embasamento do exemplo numérico, localizado no Brasil, região nordeste pertencente ao estado de Alagoas e Sergipe, mas existem em outras regiões do Brasil. Possuem áreas subdivididas em áreas de quadras, áreas verdes destinada a preservação da vegetação nativa; áreas de implantação de equipamentos comunitários e áreas de implantação dos sistemas viários dos empreendimentos, onde toda infraestrutura foi construída, composta: terraplenagem; sistema de drenagem pluvial; sistema de abastecimento de água; sistema de energia elétrica; pavimentação e instalação de meio-fio (quadro 10).

Todos os três projetos foram desenvolvidas pela própria empresa. Entretanto, os projetos complementares básicos foram elaborados por escritórios de projeto tercerizados, sem compatibilização entre terraplenagem, sistema de drenagem pluvial, sistema de energia elétrica e pavimentação, todos com poucas informações e detalhes. O saneamento básico ficou a cargo dos futuros moradores por meio de execução de tanques sépticos, devido à incapacidade técnica das concessionárias responsáveis para recebimento e tratamento dos efluentes líquidos gerados pelas moradias (ausência de estação de tratamento local e rede coletora de esgoto).

Os orçamentos foram elaborado pela equipe de projetos da empresa usando estimativas de preço e quantidade de projetos similares. Os cronogramas utilizados obedeceram os fluxos de caixa da empresa e foram desenvolvidos em conjunto com setor financeiro e equipe de engenharia da empresa, logo a empresa adotou para os três projetos um cronograma padrão.

Os três casos reais de desenvolvimento urbano foram disponibilizados e aplicados no método. Todos foram avaliados com base nos mesmos critérios, com respeito às informações dos projetos, orçamentos e características ambientais das regiões. O quadro 10 apresenta os dados de caracterização dos projetos avaliados.

Quadro 10 – Caracterização dos Projetos – Casos Reais

DESCRIÇÃO DOS PROJETOS			PROJETO A	PROJETO B	PROJETO C
Cidade/Estado			Santana do Ipanema / AL	Arapiraca/AL	Estância/SE
Quantidade de Lotes			847 unid.	614 unid.	771 unid.
Área Total			300.000,00 m ²	190.000,00 m ²	415.732,00 m ²
Área de Quadras			174.236,64 m ²	119.512,93 m ²	163.733,15 m ²
Área verde			71.945,34 m ²	24.794,46 m ²	198.797,58 m ²
Área do Sistema Viário			53.818,02 m ²	45.692,61 m ²	53.201,27 m ²
ATIVIDADES	MATERIAIS	VOLUME UNITÁRIO	PROJETO A	PROJETO B	PROJETO C
Terraplenagem	Solo natural	1m ³ /m ³	191.461,24 m ³	20.340,32 m ³	104.399,08 m ³
Sistema de Drenagem Pluvial	Manilha de concreto	0,134 m ³ /m	6.698,00 m	967,61 m	1.575,53 m
Sistema - Abastecimento de Água	Tubulação de PVC	1,40596 Kg/m	6.698,00 m	5.378,00 m	4.976,00 m
Sistema de Energia Elétrica	Poste de concreto	1.519,98 Kg/unidade	222 unid.	155 unid.	130 unid.
Pavimentação	Areia	0,04 m ³ /m ²	53.243,18 m ²	31.878,00 m ²	39.138,85 m ²
	Paralelepípedo	384Kg/m ²			
Meio-fio	Meio-fio (concreto)	0,0639 m ³ /m	13.590,00 m	9.278,00 m	11.393,96 m

Nota: Valores adotados: Densidade do solo natural: 1.800,00 Kg/m³; Densidade do Concreto: 2.400,00 Kg/m³; Densidade do Paralelepípedo: 3.086,42 kg/m³; Densidade do PVC: 1.380,00 Kg/m³.

Fonte: Autor, 2021.

5.1.1 Projeto A

O projeto A é localizado no município de Santana do Ipanema do estado de Alagoas, com uma população, conforme estimativas do IBGE de 2018, de 47.486 habitantes e um território de 437,875 Km². Sua altitude média é de 25 metros acima do nível do mar, temperaturas que variam de 20° C a 39° C e a velocidade média do vento de 3,61m/s.

Inserido na cidade de Santana do Ipanema-AL com a seguinte coordenada geográfica: latitude 9° 23' 12" S e longitude 37° 14' 33" W. O caso real de Santana do Ipanema (Projeto A) foi lançado no mercado imobiliário em abril de 2014. O empreendimento está inserido na região periférica com ambiente natural pouco antropizado (figura 18).

Figura 18 – Imagem Aérea – Projeto A



Fonte: Autor, 2021.

5.1.2 Projeto B

O projeto B se encontra no município de Arapiraca do estado de Alagoas na região agreste. Limita-se ao norte com o município de Igaci, ao sul com o município de São Sebastião, ao leste com os municípios de Coité do Noia e Limoeiro de Anadia, ao oeste com os municípios de Lagoa da Canoa e Girau do Ponciano e Feira Grande, ao nordeste com o município de Craíbas e ao sudeste como o município de Junqueiro. Com uma população, conforme estimativas do IBGE de 2020, de 233.047 habitantes e um território de 345 Km². O clima é caracterizado como tropical quente semiúmido ou sub-úmido, com temperaturas médias anuais de 24,8°C e velocidade média do vento de 4,86m/s.

Localizado na cidade de Arapiraca-AL com a seguinte coordenada geográfica: latitude 9° 43' 12" S e longitude 36° 41' 33" W. O caso real de Arapiraca (Projeto B) foi lançado no mercado imobiliário em novembro de 2016. O empreendimento está inserido na região periférica com ambiente natural pouco antropizado (figura 19).

Figura 19 – Imagem Aérea – Projeto B



Fonte: Autor, 2021.

5.1.3 Projeto C

O projeto C se encontra localizado no município de Estância do estado de Sergipe, região nordeste do país, com uma população, conforme estimativas do IBGE de 2018, de 68.804 habitantes e densidade demográfica de 104,79 hab/km². É uma planície litorânea localizada ao longo da Costa, formada por dunas e praias. Com vegetação variada formada por coqueirais e uma vegetação rasteira, com campos de matas de restingas e manguezais. Com clima tropical, sendo os meses de maior calor janeiro, março e dezembro e os meses mais chuvosos sendo maio, junho, julho, agosto e setembro. Temperatura máxima de 32° C e mínima de 24° C e a velocidade média do vento de 4,11m/s.

Situado na cidade de Estância-SE com a seguinte coordenada geográfica: latitude 11° 15' 4" S e longitude 37° 25' 49" W. O caso real de Estância (Projeto C) foi lançado no mercado imobiliário em outubro de 2015. O empreendimento está inserido na região periférica com ambiente natural pouco antropizado (figura 20).

Figura 20 – Imagem Aérea – Projeto C



Fonte: Autor, 2021.

5.2 RESULTADOS DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Os resultados da aplicação da metodologia nos três projetos - casos reais - de infraestrutura foram subdivididos nos itens: 5.2.1 Resultados dos Cálculos das Durações das Atividades Construtivas; 5.2.2 Resultados dos Cálculos das Severidades dos Aspectos Ambientais; 5.2.3 Resultados dos Cálculos Matriciais dos Aspectos Ambientais; 5.2.4 Resultados do Inventário dos Aspectos Ambientais e 5.2.5 Resultados da Identificação das Causas dos Aspectos Ambientais.

5.2.1 Resultados dos Cálculos das Durações das Atividades Construtivas

O critério duração das atividades construtivas foi incorporado aos cálculos pela importância do período de incomodo e/ou exposição dos aspectos ambientais ao ambiente natural e às pessoas. Essa duração em um longo período vulnerabilizaram o ambiente natural e/ou pessoas, para ilustrar: uso de equipamentos por períodos prolongados potencializaram as Poluição Sonora, Emissões de Gases do Efeito Estufa e Partículas Totais em Suspensão. Com isso, os fatores de duração das atividades foram obtidos através das durações das atividades pela duração total do

projeto contido no cronograma elaborado pela empresa para os três projetos estudados (quadro 11).

Quadro 11 – Prazos das Atividades Construtivas

CRONOGRAMA BÁSICO – PROJETOS							
DURAÇÃO (TOTAL):						1440	Dias
DESCRIÇÃO	UNID.	A-T	A-SDP	A-SAA	A-SEE	A-P	A-MF
DURAÇÃO	Dias	150	120	210	150	600	600
A-T: ATIVIDADE DE TERRAPLENAGEM							
A-SDP: ATIVIDADE DE SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL							
A-SAA: ATIVIDADE DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA							
A-SEE: ATIVIDADE DO SISTEMA DE ENERGIA ELÉTRICA							
A-P: ATIVIDADE DE PAVIMENTAÇÃO							
A-MF: ATIVIDADE DE MEIO-FIO							

Fonte: Cronograma dos Casos Reais.

Os resultados acima demonstraram que as atividades mais longas foram pavimentação e instalação de meio-fio. O segundo grupo das atividades longas apontou para instalação do sistema de abastecimento de água; terraplenagem e sistema de energia elétrica. A atividade denominada de sistema de drenagem pluvial apresentou o prazo mais curto. Essas informações indicaram o período de perturbação e danos na vida humana e no meio ambiente.

Para construção da Matriz A, o cálculo da escala foi determinado pela faixa de frequência, calculada pela maior duração com 600 dias, menos a menor duração com 120 dias e seu resultado dividido 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 (quadro 12).

Quadro 12 – Definição das Escalas de Intervalos – Duração

Duração (dias) - Intervalos	Escala
Prazo \leq 120	1
120 < Prazo \leq 216	2
216 < Prazo \leq 312	3
312 < Prazo \leq 408	4
Prazo > 408	5

Fonte: Autor, 2021.

5.2.2 Resultados dos Cálculos das Severidades dos Aspectos Ambientais

Os resultados dos casos reais para critério severidade apontaram os aspectos ambientais mais significativos entre as atividades desenvolvidas no projeto. As informações obtidas nos cálculos das severidades dos aspectos ambientais podem ajudar aos *stakeholders* do projeto na visualização dos possíveis aspectos ambientais.

Os resultados demonstraram uma coerência e sinergia entre os aspectos ambientais extremamente importantes. Ficaram evidentes os *links* provenientes da cadeia de produção da construção civil, como por exemplo: durante a utilização dos equipamentos que podem produzir externalidades como emissões ao ar. As atividades e os processos construtivos podem proporcionar lançamentos para o solo e para a água. E a extração/uso dos materiais de construções podem gerar os altos índices de perdas intimamente ligados à geração de resíduos e uso da matéria-prima.

O quadro 13 apresenta os resultados das severidades dos aspectos ambientais das atividades construtivas dos casos reais. A base dos cálculos das severidades por aspectos ambiental foi determinada no item 3.3.1.2 com as informações do apêndice A. Dessa forma, os gestores de obras podem obter informações preditivas dos aspectos ambientais na fase de planejamento. Esses resultados apontam os possíveis impactos das atividades construtivas e fornecem informações importantes para eliminação, mitigação ou aceitação dos aspectos ambientais.

Quadro 13 – Cálculos das Severidades dos Aspectos Ambientais

DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES	PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO (PTS)			EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA (GEE)			POLUIÇÃO SONORA (PS)		
	(g)			(KgCO ₂ e)			(dB)		
	PROJETO A	PROJETO B	PROJETO C	PROJETO A	PROJETO B	PROJETO C	PROJETO A	PROJETO B	PROJETO C
<u>A-T</u>	3.092.263,15	161.764,65	1.458.627,49	279.157,83	26.346,32	129.269,90	70,86	67,74	76,76
<u>A-SDP</u>	53.846,90	5.612,17	14.697,19	384.395,35	55.742,66	90.294,97	61,46	58,40	67,51
<u>A-SAA</u>	5.083,54	4.041,33	3.816,60	17.477,43	14.033,09	12.984,13	61,46	58,40	67,51
<u>A-SEE</u>	1.587,34	955,46	1.009,94	59.801,02	41.740,63	35.005,80	61,83	58,79	67,55
<u>A-P</u>	262.144,07	19.846,06	184.115,51	143.261,11	83.192,48	101.176,61	54,06	51,06	60,11
<u>A-MF</u>	23.640,40	1.913,93	19.123,43	372.501,98	254.042,21	311.879,34	51,05	48,05	57,10
DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES	ALTERAÇÃO DO SOLO (AS)			POLUIÇÃO DO SOLO (PSOLO)			POLUIÇÃO DA ÁGUA (PA)		
	(%)			(mg/m ²)			(%)		
	PROJETO A	PROJETO B	PROJETO C	PROJETO A	PROJETO B	PROJETO C	PROJETO A	PROJETO B	PROJETO C
<u>A-T</u>	74,80	213,45	26,76	0,00	0,00	0,00	3,59	16,71	7,68
<u>A-SDP</u>	8,94	3,75	0,76	718,03	163,78	121,88	0,625	0,428	0,318
<u>A-SAA</u>	3,72	8,68	1,00	0,00	0,00	0,00	0,179	0,679	0,287
<u>A-SEE</u>	0,13	0,27	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<u>A-P</u>	74,00	128,57	19,69	0,00	0,00	0,00	3,55	10,07	5,65
<u>A-MF</u>	5,67	11,22	1,72	695,81	750,05	420,97	0,272	0,879	0,493

Continuação do Quadro 13

DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES	USO DE RECURSO E MATERIA-PRIMA (URMP)			RESÍDUO (RCD)		
	(impacto total)			(t)		
	PROJETO A	PROJETO B	PROJETO C	PROJETO A	PROJETO B	PROJETO C
<u>A-T</u>	0,00	0,00	0,00	69.677,15	3.145,89	6.831,65
<u>A-SDP</u>	7,147E-09	1,03248E-09	1,6811E-09	30,96	4,47	7,28
<u>A-SAA</u>	5,345E-10	4,27926E-10	3,9594E-10	0,18	0,15	0,14
<u>A-SEE</u>	4,759E-10	3,32309E-10	2,7871E-10	0,00	0,00	0,00
<u>A-P</u>	5,491E-07	3,28726E-07	4,036E-07	816,28	488,72	600,05
<u>A-MF</u>	6,926E-09	4,72834E-09	5,8067E-09	30,01	20,49	25,16
DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES	USO DA ÁGUA (UA)			USO DE ENERGIA (EU)		
	(L)			(Mj)		
	PROJETO A	PROJETO B	PROJETO C	PROJETO A	PROJETO B	PROJETO C
<u>A-T</u>	161.454,06	137.077,92	159.603,81	3.241.499,60	326.737,67	1.607.567,88
<u>A-SDP</u>	112.191,25	16.207,50	26.390,00	3.327.247,19	479.974,74	815.138,25
<u>A-SAA</u>	0,00	0,00	0,00	661.203,93	530.671,75	491.192,65
<u>A-SEE</u>	17.575,00	12.270,83	10.291,67	543.881,90	379.190,02	317.890,53
<u>A-P</u>	632.684,42	374.757,77	460.116,31	687.586,83	484.889,38	456.888,81
<u>A-MF</u>	108.720,00	74.223,75	91.151,25	3.224.118,26	2.198.078,92	2.815.493,39

Fonte: Autor, 2021.

O primeiro aspecto ambiental calculado foi Partículas Totais em Suspensão, onde os resultados totais apontaram este aspecto ambiental como foi significativo para o Projeto A com 3.438.565,40 gramas, seguido pelo Projeto C com 1.681.390,16 gramas, e pelo Projeto B com 194.133,60 gramas. Os três projetos tiveram como atividade mais impactante a terraplenagem, onde a movimentação de terra pontencializou a quantificação do aspecto ambiental Partículas Totais em Suspensão. O segundo foi a emissão de Emissões de Gases do Efeito Estufa, provocado pelo intenso uso de máquinas/equipamento pesados e pela incorporação de Emissões de Gases do Efeito Estufa na fabricação dos elementos construtivos das atividades. Logo, os projetos A, B e C obtiveram um total de Emissões de Gases do Efeito Estufa de 1.256.594,72 KgCO_{2e}, 475.097,39 KgCO_{2e} e 680.610,75 KgCO_{2e}, respectivamente. As atividades que mais contribuíram foram: terraplenagem - devido ao volume de material transportado, sistema de drenagem pluvial - através da produção de manilhas de concreto - e meio fio devido a Emissões de Gases do Efeito Estufa incorporado na produção do concreto.

Os três projetos apresentaram um nível de Poluição Sonora equivalente às atividades construtivas. A atividade de terraplenagem obteve a maior Poluição Sonora, sendo os valores de 70,86 dB, 67,74 dB e 76,76 dB, respectivamente, aos projetos A, B e C. Na fase de planejamento dos projetos, foram dimensionadas as mesmas quantidades de equipamentos por atividades construtivas e as variações dos três resultados foram obtidas pela diferença do raio de atuação da fonte emissora (equipamento) ao receptor (vizinho mais próximo). O quarto aspecto ambiental calculado foi a Alteração do Solo, com duas atividades que atingiram pontuação máxima: terraplenagem (Projeto A: 74,80%; Projeto B: 213,00% e Projeto C: 26,76%) e pavimentação (Projeto A: 74,00%; Projeto B: 128,57% e Projeto C: 19,69%), devido as dimensões das áreas de construção.

A Poluição do Solo ficou restrita a duas atividades com riscos de substâncias nocivas por meio da infiltração: sistema de drenagem pluvial e meio fio, com fabricação de seus elementos construtivos fabricados "in loco" no canteiro de obra. Obteve-se uma quantidade total de 1.413,84 mg/m² para projeto A; 913,83 mg/m² para o projeto B e 542,85 mg/m² para o projeto C. Já a Poluição das Águas registrou uma possibilidade de danos ao meio ambiente nas duas atividades com maior dimensão em áreas existentes na construção, terraplenagem com 3,59% (Projeto A); 16,71%

(Projeto B) e 7,68% (Projeto C) e pavimentação com 3,55% (Projeto A); 10,07% (Projeto B) e 5,65% (Projeto C).

O aspecto ambiental Uso de Recursos e Materia-Prima registrou no projeto A $5,64183 \times 10^{-7}$, seguido pelo projeto C com $4,11762 \times 10^{-7}$ e no projeto B um total de $3,35247 \times 10^{-7}$ de impacto total. Sendo as atividades de pavimentação, sistema de drenagem pluvial e meio fio as mais impactantes devido ao concreto incorporado e à quantidade de material utilizada na pavimentação. O Resíduos da Construção e Demolição foi expressivo na atividade de terraplenagem devido ao volume de solo destinado ao bota-fora. Os projetos A, B e C totalizaram 70.554,58 toneladas; 3.659,72 toneladas e 7.464,28 toneladas, respectivamente. Logo, a atividade de terraplenagem nos projetos A, B e C representaram 98,75%, 85,95% e 91,52% do total de resíduos gerados, provenientes da subatividade de bota fora.

O nono aspecto ambiental quantificado foi Uso da Água (item 2.1.9), detectou-se que o projeto A totalizou 1.032.624,73 litros, o projeto B com 614.537,77 litros e o projeto C apontou 747.553,04 litros, sendo a atividade de pavimentação, a maior consumidora de água, onde o consumo somou a água utilizada no colchão de areia para adesamento e a água utiliza na produção das pedras de paralelepípedo durante a lavagem do produto na usina de britagem. Finalmente, o Uso de Energia foi representado pelo uso de energia no transporte dos materiais/serviços e energia embutida na fabricação dos elementos construtivos das atividades. O uso de energia total dos projetos A, B e C foi de 11.685.537,71 Mj; 4.399.542,48 Mj e 6.504.171,51 Mj, respectivamente. As atividades mais impactantes foram a terraplenagem devido ao grande volume de transporte, e o sistema de drenagem pluvial e meio fio devido a utilização de concreto.

Os cálculos absolutos das severidades dos aspectos ambientais foram transformados em faixas de frequências para cada aspecto ambiental em cada um dos projetos estudados, calculada pelo maior escore, menos o menor escore e seu resultado dividido por cinco, possibilitando a construção das matrizes de severidades dos projetos (Matriz B). O intervalo "1" foi indicado pelo resultado de menor escore, os demais intervalos foram as somas do escore anterior somado da faixa de frequência determinada, conforme explicado no item 3.3.2 do método preditivo de avaliação dos aspectos ambientais. As escalas de intervalos do critério severidade dos projetos: A, B e C estão apresentadas nos quadros: 14; 15 e 16, respectivamente.

Quadro 14 – Definição das Escalas de Intervalos – Severidade – PROJETO A

PTS (g) – Intervalos				GEE (KgCO₂e) - Intervalos			
Faixa do Intervalo		618.135,16	gramas	Faixa do Intervalo		73.383,58	KgCO ₂ e
Menor	Aspecto	Maior	Escala	Menor	Aspecto	Maior	Escala
	PTS ≤	1.587,34	1		GEE ≤	17.477,43	1
1.587,34	< PTS ≤	619.722,50	2	17.477,43	< GEE ≤	90.861,01	2
619.722,50	< PTS ≤	1.237.857,66	3	90.861,01	< GEE ≤	164.244,60	3
1.237.857,66	< PTS ≤	1.855.992,83	4	164.244,60	< GEE ≤	237.628,18	4
	PTS >	1.855.992,83	5		GEE >	237.628,18	5
PS (dB) – Intervalos				AS (%) - Intervalos			
Faixa do Intervalo		3,96	dB	Faixa do Intervalo		14,93	%
Menor	Aspecto	Maior	Escala	Menor	Aspecto	Maior	Escala
	PS ≤	51,05	1		AS ≤	0,13	1
51,05	< PS ≤	55,01	2	0,13	< AS ≤	15,07	2
55,01	< PS ≤	58,97	3	15,07	< AS ≤	30,00	3
58,97	< PS ≤	62,94	4	30,00	< AS ≤	44,93	4
	PS >	62,94	5		AS >	44,93	5
PSOLO (mg/m²) – Intervalos				PA (%) - Intervalos			
Faixa do Intervalo		143,61	mg/m ²	Faixa do Intervalo		0,72	%
Menor	Aspecto	Maior	Escala	Menor	Aspecto	Maior	Escala
	PSOLO =	0,00	1		PA =	0,00	1
0,00	< PSOLO ≤	143,61	2	0,00	< PA ≤	0,72	2
143,61	< PSOLO ≤	287,21	3	0,72	< PA ≤	1,44	3
287,21	< PSOLO ≤	430,82	4	1,44	< PA ≤	2,15	4
	PSOLO >	430,82	5		PA >	2,15	5
URMP (impacto total) – Intervalos				RCD (t) - Intervalos			
Faixa do Intervalo		1,0982E-07	Impacto total	Faixa do Intervalo		13.935,43	t
Menor	Aspecto	Maior	Escala	Menor	Aspecto	Maior	Escala
	URMP =	0,00	1		RCD =	0,00	1
0,00	< URMP ≤	1,0982E-07	2	0,00	< RCD ≤	13.935,43	2
1,0982E-07	< URMP ≤	2,1964E-07	3	27.870,86	< RCD ≤	41.806,29	3
2,1964E-07	< URMP ≤	3,2946E-07	4	41.806,29	< RCD ≤	55.741,72	4
	URMP >	3,2946E-07	5		RCD >	55.741,72	5
UA (litros) – Intervalos				UE (Mj) - Intervalos			
Faixa do Intervalo		126.536,88	litros	Faixa do Intervalo		556.673,06	Mj
Menor	Aspecto	Maior	Escala	Menor	Aspecto	Maior	Escala
	UA =	0,00	1		UE ≤	543.881,90	1
0,00	< UA ≤	126.536,88	2	543.881,90	< UE ≤	1.100.554,96	2
126.536,88	< UA ≤	253.073,77	3	1.100.554,96	< UE ≤	1.657.228,02	3
253.073,77	< UA ≤	379.610,65	4	1.657.228,02	< UE ≤	2.213.901,07	4
	UA >	379.610,65	5		UE >	2.213.901,07	5

Fonte: Autor, 2021.

Quadro 15 – Definição das Escalas de Intervalos – Severidade – PROJETO B

PTS (g) – Intervalos				GEE (KgCO₂e) - Intervalos			
Faixa do Intervalo		32.161,84	gramas	Faixa do Intervalo		48.001,82	KgCO ₂ e
Menor	Aspecto	Maior	Escala	Menor	Aspecto	Maior	Escala
	PTS ≤	955,46	1		GEE ≤	14.033,09	1
955,46 <	PTS ≤	33.117,30	2	14.033,09 <	GEE ≤	62.034,91	2
33.117,30 <	PTS ≤	65.279,14	3	62.034,91 <	GEE ≤	110.036,74	3
65.279,14 <	PTS ≤	97.440,97	4	110.036,74 <	GEE ≤	158.038,56	4
	PTS >	97.440,97	5		GEE >	158.038,56	5
PS (dB) – Intervalos				AS (%) - Intervalos			
Faixa do Intervalo		3,94	dB	Faixa do Intervalo		42,64	%
Menor	Aspecto	Maior	Escala	Menor	Aspecto	Maior	Escala
	PS ≤	48,05	1		AS ≤	0,27	1
48,05 <	PS ≤	51,99	2	0,27 <	AS ≤	42,91	2
51,99 <	PS ≤	55,93	3	42,91 <	AS ≤	85,54	3
55,93 <	PS ≤	59,86	4	85,54 <	AS ≤	128,18	4
	PS >	59,86	5		AS >	128,18	5
PSOLO (mg/m²) – Intervalos				PA (%) - Intervalos			
Faixa do Intervalo		150,01	mg/m ²	Faixa do Intervalo		3,34	%
Menor	Aspecto	Maior	Escala	Menor	Aspecto	Maior	Escala
	PSOLO =	0,00	1		PA =	0,00	1
0,00 <	PSOLO ≤	150,01	2	0,00 <	PA ≤	3,34	2
150,01 <	PSOLO ≤	300,02	3	3,34 <	PA ≤	6,68	3
300,02 <	PSOLO ≤	450,03	4	6,68 <	PA ≤	10,03	4
	PSOLO >	450,03	5		PA >	10,03	5
URMP (impacto total) – Intervalos				RCD (t) - Intervalos			
Faixa do Intervalo		6,57452E-08	impacto total	Faixa do Intervalo		629,18	t
Menor	Aspecto	Maior	Escala	Menor	Aspecto	Maior	Escala
	URMP =	0,00	1		RCD =	0,00	1
0,00 <	URMP ≤	6,5745E-08	2	0,00 <	RCD ≤	629,18	2
6,5745E-08 <	URMP ≤	1,3149E-07	3	1.258,36 <	RCD ≤	1.887,53	3
1,3149E-07 <	URMP ≤	1,9724E-07	4	1.887,53 <	RCD ≤	2.516,71	4
	URMP >	1,9724E-07	5		RCD >	2.516,71	5
UA (litros) – Intervalos				UE (Mj) - Intervalos			
Faixa do Intervalo		74.951,55	litros	Faixa do Intervalo		374.268,25	Mj
Menor	Aspecto	Maior	Escala	Menor	Aspecto	Maior	Escala
	UA =	0,00	1		UE ≤	326.737,67	1
0,00 <	UA ≤	74.951,55	2	326.737,67 <	UE ≤	701.005,92	2
74.951,55 <	UA ≤	149.903,11	3	701.005,92 <	UE ≤	1.075.274,17	3
149.903,11 <	UA ≤	224.854,66	4	1.075.274,17 <	UE ≤	1.449.542,42	4
	UA >	224.854,66	5		UE >	1.449.542,42	5

Fonte: Autor, 2021.

Quadro 16 – Definição das Escalas de Intervalos – Severidade – PROJETO C

PTS (g) – Intervalos				GEE (KgCO₂e) - Intervalos			
Faixa do Intervalo		291.523,51	gramas	Faixa do Intervalo		59.779,04	KgCO ₂ e
Menor	Aspecto	Maior	Escala	Menor	Aspecto	Maior	Escala
	PTS ≤	1.009,94	1		GEE ≤	12.984,13	1
1.009,94	< PTS ≤	292.533,45	2	12.984,13	< GEE ≤	72.763,17	2
292.533,45	< PTS ≤	584.056,96	3	72.763,17	< GEE ≤	132.542,21	3
584.056,96	< PTS ≤	875.580,47	4	132.542,21	< GEE ≤	192.321,26	4
	PTS >	875.580,47	5		GEE >	192.321,26	5
PS (dB) – Intervalos				AS (%) - Intervalos			
Faixa do Intervalo		3,93	dB	Faixa do Intervalo		5,35	%
Menor	Aspecto	Maior	Escala	Menor	Aspecto	Maior	Escala
	PS ≤	57,10	1		AS ≤	0,03	1
57,10	< PS ≤	61,03	2	0,03	< AS ≤	5,38	2
61,03	< PS ≤	64,96	3	5,38	< AS ≤	10,72	3
64,96	< PS ≤	68,90	4	10,72	< AS ≤	16,07	4
	PS >	68,90	5		AS >	16,07	5
PSOLO (mg/m²) – Intervalos				PA (%) - Intervalos			
Faixa do Intervalo		84,19	mg/m ²	Faixa do Intervalo		1,54	%
Menor	Aspecto	Maior	Escala	Menor	Aspecto	Maior	Escala
	PSOLO =	0,00	1		PA =	0,00	1
0,00	< PSOLO ≤	84,19	2	0,00	< PA ≤	1,54	2
84,19	< PSOLO ≤	168,39	3	1,54	< PA ≤	3,07	3
168,39	< PSOLO ≤	252,58	4	3,07	< PA ≤	4,61	4
	PSOLO >	252,58	5		PA >	4,61	5
URMP (impacto total) – Intervalos				RCD (t) - Intervalos			
Faixa do Intervalo		8,072E-08	impacto total	Faixa do Intervalo		1.366,33	t
Menor	Aspecto	Maior	Escala	Menor	Aspecto	Maior	Escala
	URMP =	0,00	1		RCD =	0,00	1
0,00	< URMP ≤	8,072E-08	2	0,00	< RCD ≤	1.366,33	2
8,072E-08	< URMP ≤	1,6144E-07	3	2.732,66	< RCD ≤	4.098,99	3
1,6144E-07	< URMP ≤	2,4216E-07	4	4.098,99	< RCD ≤	5.465,32	4
	URMP >	2,4216E-07	5		RCD >	5.465,32	5
UA (litros) – Intervalos				UE (Mj) - Intervalos			
Faixa do Intervalo		92.023,26	litros	Faixa do Intervalo		499.520,57	Mj
Menor	Aspecto	Maior	Escala	Menor	Aspecto	Maior	Escala
	UA =	0,00	1		UE ≤	317.890,53	1
0,00	< UA ≤	92.023,26	2	317.890,53	< UE ≤	817.411,10	2
92.023,26	< UA ≤	184.046,52	3	817.411,10	< UE ≤	1.316.931,67	3
184.046,52	< UA ≤	276.069,79	4	1.316.931,67	< UE ≤	1.816.452,25	4
	UA >	276.069,79	5		UE >	1.816.452,25	5

Fonte: Autor, 2021.

Os cálculos da severidades demonstraram relação direta entre quantidades; tipo de materiais e atividade e/ou processo adotados na obra. Bem como, indicaram precocemente os aspectos ambientais significativos e possibilitarão o gerenciamento das três dimensões da sustentabilidade:

- a) Econômica: na redução das quantidades e prazos, melhorando produtividade das atividades;
- b) Ambiental: na substituição dos materiais convencionais por alternativos, bem como mitigando as atividades, optando por métodos/processos que protejam o meio ambiente;
- c) Social: na minimização do incômodo da vizinhança e produção de uma obra menos agressiva ao meio ambiente e sociedade circunvizinha.

5.2.3 Resultados dos Cálculos Matriciais dos Aspectos Ambientais

As pontuações de 1 a 5 das matrizes obtidas através dos valores individuais dos critérios ambientais adquiridos nos cálculos de duração (quadro 11) e severidade (quadro 13) e transformados pelas faixas de intervalos estabelecidas para duração (quadro 12) e para severidade (quadros 14; 15 e 16) possibilitaram a operação matricial. Esta escala de pontuações foi criada e categorizada adotando a ordem crescente da significância do impacto nos critérios duração e severidade.

A Matriz “A” representa o critério de duração, os valores dos prazos das atividades do cronograma da empresa foram anotados, em seguida foram convertidos numa escala de cinco pontos, onde: 1-pouco demorada; 2-razoavelmente demorada; 3-demorada; 4-muito demorada; 5-extremamente demorada. A utilização da escala de intervalos de cinco pontos permitiu a classificação das atividades construtivas em relação aos prazos definidos no cronograma. Esta foi uma das questões que fez parte da proposta de análise e permitiu a comparação dos prazos estabelecidos entre as atividades construtivas avaliadas nos casos reais. Além disso, ao se criar a Matriz “A”, passou a ser possível avaliar o impacto dos aspectos ambientais diante de modificações e adaptações do cronograma do projeto, auxiliando os gerentes no processo decisório sobre quais atividades podem ter seu cronograma modificado para beneficiar as questões ambientais.

A Matriz “B” representa o critério severidade, 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 escala de intervalos do espaço vetorial da Matriz “B” representa em suas colunas os dez aspectos ambientais; e em suas linhas, as seis atividades construtivas. A utilização desta matriz possibilitou a análise da correlação de uma atividade construtiva com cada aspecto ambiental, por conseguinte, facilitando a identificação de quais atividades construtivas geraram maiores e menores impactos ambientais.

A Matriz “C” apresenta os resultados da multiplicação das Matrizes A e B que expressam a pontuação total de cada aspecto ambiental, conforme equações matriciais (23; 24 e 25).

O projeto A apresentou o resultado da Matriz “C” obtido pela multiplicação das Matrizes A e B que expressam a pontuação total de cada aspecto ambiental, conforme equação matricial (23).

$$\begin{array}{c}
 \text{MATRIZ "A"} \\
 (2 \quad 1 \quad 2 \quad 2 \quad 5 \quad 5) *
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \text{MATRIZ "B"} \\
 \begin{pmatrix}
 5 & 5 & 5 & 5 & 1 & 5 & 1 & 5 & 3 & 5 \\
 2 & 5 & 4 & 2 & 5 & 2 & 2 & 2 & 2 & 5 \\
 2 & 1 & 4 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 & 1 & 2 \\
 1 & 2 & 4 & 1 & 1 & 1 & 2 & 1 & 2 & 1 \\
 2 & 3 & 2 & 5 & 1 & 5 & 5 & 2 & 5 & 2 \\
 2 & 5 & 1 & 2 & 5 & 2 & 2 & 2 & 2 & 5
 \end{pmatrix}
 \end{array}
 =
 \begin{array}{c}
 \text{MATRIZ "C"} \\
 \begin{pmatrix}
 \text{PTS} & \text{GEE} & \text{PS} & \text{AS} & \text{PSOLO} & \text{PA} & \text{URMP} & \text{RCD} & \text{UA} & \text{UE} \\
 38 & 61 & 45 & 53 & 41 & 53 & 47 & 38 & 49 & 56
 \end{pmatrix}
 \end{array}
 \quad (23)$$

O aspecto de maior impacto ambiental foi Emissões de Gases do Efeito Estufa que totalizou 61 pontos, seguido do Uso de Energia com 56 pontos. Ainda obtiveram grandes escores Poluição das Águas e Alteração do Solo com 53 pontos; Uso da Água com 49 pontos; Uso de Recursos e Materia-Prima com 47 pontos; Poluição Sonora com 45 pontos; Poluição do Solo com 41 pontos; Partículas Totais em Suspensão e Resíduos da Construção e Demolição com 38 pontos. A partir desses resultados, os gestores podem verificar a pontuação total de cada aspecto ambiental considerando todas as atividades de construção. Esta informação permite aos *stakeholders* identificar o maior impacto deste projeto, nesse caso real as emissões de Gases de Efeito Estufa, seguido do Uso de Energia.

Ao verificar os dados de entrada nas matrizes A e B, é possível verificar que “terraplenagem; sistema de drenagem pluvial e meio fio” foram as atividades de construção que mais impactam este projeto, permitindo aos gestores decidirem se devem fazer modificações nesta atividade de forma a reduzir o total da pontuação desses aspectos ambientais.

O projeto B apresentou o resultado da Matriz “C” obtido pela multiplicação das Matrizes A e B que expressam a pontuação total de cada aspecto ambiental, conforme equação matricial (24).

$$\begin{array}{c}
 \text{MATRIZ "A"} \\
 (2 \quad 1 \quad 2 \quad 2 \quad 5 \quad 5) *
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \text{MATRIZ "B"} \\
 \begin{pmatrix}
 5 & 2 & 5 & 5 & 1 & 5 & 1 & 5 & 3 & 1 \\
 2 & 2 & 4 & 2 & 3 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 \\
 2 & 1 & 4 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 & 1 & 2 \\
 1 & 2 & 4 & 1 & 1 & 1 & 2 & 1 & 2 & 2 \\
 2 & 3 & 2 & 5 & 1 & 5 & 5 & 2 & 5 & 2 \\
 2 & 5 & 1 & 2 & 5 & 2 & 2 & 2 & 2 & 5
 \end{pmatrix}
 \end{array}
 =
 \begin{array}{c}
 \text{MATRIZ "C"} \\
 \begin{pmatrix}
 \text{PTS} & \text{GEE} & \text{PS} & \text{AS} & \text{PSOLO} & \text{PA} & \text{URMP} & \text{RCD} & \text{UA} & \text{UE} \\
 38 & 52 & 45 & 53 & 39 & 53 & 47 & 38 & 49 & 47
 \end{pmatrix}
 \end{array}
 \quad (24)$$

Os resultados do Projeto B apresentados na Matriz B indicou a atividade de terraplenagem (primeira linha) como mais impactante com cinco aspectos ambientais na escala máxima (escala 5), sendo eles: Partículas Totais em Suspensão; Poluição Sonora; Alteração do Solo; Poluição das Águas E Resíduos da Construção e Demolição. Os resultados revelam a importância do planejamento das atividades de terraplanagem nas elaborações dos projetos e nos dimensionamentos dos serviços.

Os aspectos de maiores impactos ambientais foram Alteração do Solo e Poluição das Águas que totalizaram 53 pontos, seguido pelo Emissões de Gases do Efeito Estufa com 52 pontos. Os aspectos ambientais Alteração do Solo e Poluição das Águas pelos cálculos foram variáveis dependentes da área em m². E Emissões de Gases do Efeito Estufa foi diretamente ligado as emissões incorporadas nos materiais de construção e nos transportes (materiais e operações). Ainda obtiveram grandes escores Uso da Água com 49 pontos; Uso de Energia e Uso de Recursos e Materia-Prima com 47 pontos; Poluição Sonora com 45 pontos; Poluição do Solo com 39 pontos; Partículas Totais em Suspensão e Resíduos da Construção e Demolição com 38 pontos.

O projeto C apresentou o resultado da Matriz “C” obtido pela multiplicação das Matrizes A e B que expressam a pontuação total de cada aspecto ambiental, conforme equação matricial (25).

$$\begin{array}{c}
 \text{MATRIZ "A"} \\
 (2 \quad 1 \quad 2 \quad 2 \quad 5 \quad 5) *
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \text{MATRIZ "B"} \\
 \begin{pmatrix}
 5 & 3 & 5 & 5 & 1 & 5 & 1 & 5 & 3 & 4 \\
 2 & 3 & 4 & 2 & 3 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 \\
 2 & 1 & 4 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 & 1 & 2 \\
 1 & 2 & 4 & 1 & 1 & 1 & 2 & 1 & 2 & 1 \\
 2 & 3 & 2 & 5 & 1 & 5 & 5 & 2 & 5 & 2 \\
 2 & 5 & 1 & 2 & 5 & 2 & 2 & 2 & 2 & 5
 \end{pmatrix} =
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \text{MATRIZ "C"} \\
 \begin{pmatrix}
 \text{PTS} & \text{GEE} & \text{PS} & \text{AS} & \text{PSOLO} & \text{PA} & \text{URMP} & \text{RCD} & \text{UA} & \text{UE} \\
 38 & 55 & 45 & 53 & 39 & 53 & 47 & 38 & 49 & 51
 \end{pmatrix}
 \end{array}
 \quad (25)$$

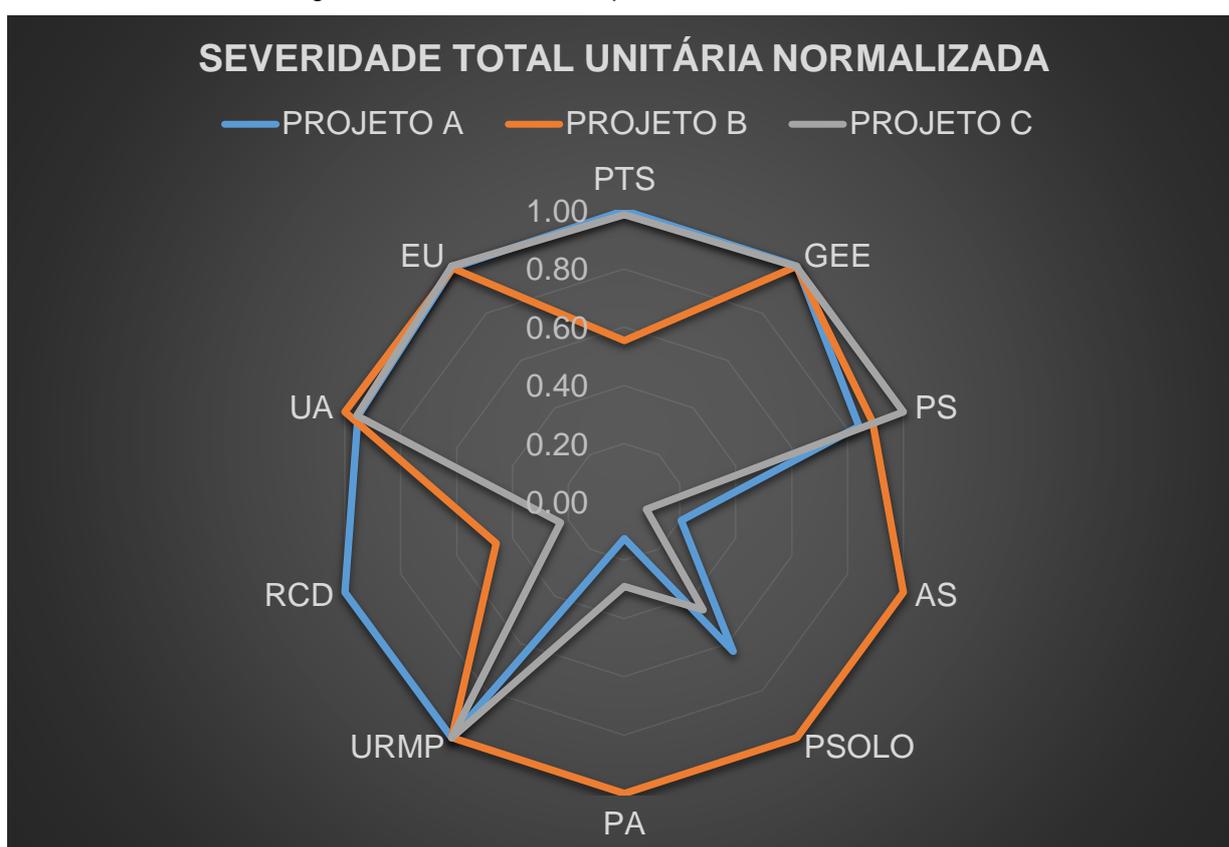
Ao verificar os dados de entrada na matriz B, é possível verificar que “terraplenagem” também foi a atividade de construção que mais impactou este projeto, permitindo aos gestores decidirem se devem fazer modificações nesta atividade de forma a reduzir o total da pontuação desses aspectos ambientais. A primeira linha da matriz B, refere-se à atividade de terraplenagem. O aspecto de maior impacto ambiental foi Emissões de Gases do Efeito Estufa que totalizou 55 pontos, seguido da Alteração do Solo e Poluição das Águas com 53 pontos. Ainda obtiveram grandes escores Uso de Energia com 51 pontos; Uso da Água com 49 pontos; Uso de Recursos e Materia-Prima com 47 pontos; Poluição Sonora com 45 pontos; Poluição do Solo com 39 pontos; Partículas Totais em Suspensão e Resíduos da Construção e Demolição com 38 pontos. Esta informação permite aos *stakeholders* identificar o maior impacto deste projeto, nesse caso real as emissões de Gases de Efeito Estufa.

5.2.4 Resultado do Inventário dos Aspectos Ambientais

A comparação dos três projetos e seus resultados divergentes apontaram que a Partículas Totais em Suspensão do projeto B foi menor do que os resultados encontrados nos projetos A e C. O Resíduos da Construção e Demolição do projeto A foi maior do que os valores obtidos no projeto B e C. Já a Poluição das Águas, Poluição do Solo e Alteração do Solo do projeto B foi maior que os resultados obtidos nos demais. Os resultados apresentados mostraram oito aspectos ambientais máximos para projeto B (Partículas Totais em Suspensão; Uso de Energia; Uso da Água; Resíduos da Construção e Demolição; Uso de Recursos e Materia-Prima; Emissões de Gases do Efeito Estufa; Poluição Sonora); sete para o projeto A (Uso de Energia; Uso da Água; Resíduos da Construção e Demolição; Uso de Recursos e Materia-Prima; Emissões de Gases do Efeito Estufa; Poluição Sonora) e seis para o

projeto C (Uso da Água; Uso de Energia; Partículas Totais em Suspensão; Emissões de Gases do Efeito Estufa; Poluição Sonora; Uso de Recursos e Materia-Prima) demonstrando a flexibilidade da aplicação da metodologia para obra similares. Finalmente, o aspecto Uso de Energia atingiu pontuação máxima na atividade de meio fio pela energia incorporada do concreto com 3.224.118,26 Mj; 2.198.078,92Mj e 2.815.493,39 Mj para os projetos A, B e C, respectivamente. Quando normalizados atingiram pontuação próxima a máxima, isto demonstra uma necessidade de racionalização do consumo energético nas atividades de infraestrutura (figura 21).

Figura 21 – Valores dos Aspectos Ambientais Unitários



Fonte: Autor, 2021.

As medidas descritivas do inventário (tabela 3) para o aspecto ambiental Partículas Totais em Suspensão apresentaram nas atividades construtivas sistema de drenagem pluvial, sistema de abastecimento de água e sistema de energia elétrica resultados dentro da faixa extremamente aceitável, com os seguintes valores do coeficiente de variação de 23,11%, 1,02% e 11,51%. A atividade de terraplenagem apresentou o coeficiente de variação de 33,46% e ficou na faixa aceitável. As atividades de pavimentação e meio fio obtiveram coeficiente de variação na ordem de

70,90% e 71,86% e ficaram na faixa pouco aceitável. Os resultados dos coeficientes de variações para o aspecto ambiental Emissões de Gases do Efeito Estufa foram extremamente aceitável, com terraplenagem obtendo o maior valor de 8,57%, e sistema de abastecimento de água o menor valor (0%).

Todos os resultados das medidas de dispersão da Poluição Sonora para as seis atividades atingiram a faixa de extremamente aceitável. Para a Alteração do Solo, a terraplenagem atingiu a faixa inaceitável com 158,13%, e as demais atividades compreenderam entre 91,92% e 93,03%, como pouco aceitável. Os resultados do aspecto ambiental Poluição do Solo foram calculados para duas atividades: sistema de drenagem pluvial e meio fio com 39,75% em ambas.

Os resultados das médias para a formulação do inventário para Uso de Recursos e Materia-Prima e para Uso de Energia foram extremamente aceitáveis diante do coeficiente de variação entre 0% e 13,53%. Os aspectos ambientais Resíduos da Construção e Demolição e Uso da Água obtiveram na atividade de terraplenagem a faixa pouco aceitável e inaceitável, com 78,70% e 106,17%, respectivamente, e nas demais atividades construtivas obtiveram a faixa extremamente aceitável. O aspecto ambiental Poluição das Águas atingiu a faixa inaceitável para atividade de terraplenagem (147,23%) e nas outras cinco atividades construtivas a faixa pouco aceitável, com resultados entre 72,54% e 72,66% (tabela 3).

Os cálculos do inventário apresentado na tabela 3 seguiram as etapas do método de avaliação das causas dos aspectos ambientais. Abaixo há uma demonstração dos resultados do aspecto ambiental Partículas Totais em Suspensão (PTS) para a atividade de terraplenagem (A-T) com média de $1,27E+01$ gramas, desvio-padrão (D-P) de 4,25 e coeficiente de variação (COEF. VAR.) de 33,46, constantes na tabela 3.

A primeira etapa foi o cálculo do valor absoluto das Partículas Totais em Suspensão (PTS) nos três projetos (quadro 13), sendo: 3.092.263,15 gramas no projeto A, 161.764,65 gramas no projeto B e 1.458.627,49 gramas no projeto C. Em seguida, foram obtidas as quantidades das atividades de terraplenagem dos três projetos no quadro 10, com $191.461,24 \text{ m}^3$ no projeto A, $20.340,32 \text{ m}^3$ no projeto B e $104.399,08 \text{ m}^3$ no projeto C.

A segunda etapa foi a obtenção da razão unitária, conforme equação 20, sendo $G_{aa} = \frac{I'1}{Qa}$, onde $I'1$ representando o valor do aspecto ambiental em gramas e Qa representando a quantidade da atividade em metros cúbicos. Os resultados foram: 16,151 gramas/m³ no projeto A, 7,953 gramas/m³ no projeto B e 13,972 gramas/m³ no projeto C.

Finalmente, foram calculadas as medidas descritivas (média, desvio-padrão e coeficiente de variação) das razões unitárias dos projetos A, B e C, com os seguintes valores: 1,27E+01, 4,25 e 33,46, respectivamente.

Os resultados das medidas de dispersão dos aspectos ambientais foram significativos. As variáveis das equações não puderam ser controladas por vários motivos: projetos realizados em regiões diferentes com condições ambientais distintas, desenhos urbanísticos dos projetos singulares e os quantitativos dos projetos diferentes.

Tabela 3 – Inventário dos Aspectos Ambientais

DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES	Unidade	PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO (PTS)			EMISSIONES DE GASES DO EFEITO ESTUFA (GEE)			POLUIÇÃO SONORA (PS)			ALTERAÇÃO DO SOLO (AS)			POLUIÇÃO DO SOLO (PSOLO)		
		(g)			(KgCO ₂ e)			(dB)			(%)			(mg/m ²)		
		MÉDIA	D-P	COEF. VAR.	MÉDIA	D- P	COEF. VAR.	MÉDIA	D-P	COEF. VAR.	MÉDIA	D- P	COEF. VAR.	MÉDIA	D- P	COEF. VAR.
<u>A-T</u>	m ³	1,27E+01	4,25	33,46	1,33E+00	0,11	8,57	1,48E+01	1,23	8 29	3,71E-03	0,01	158,13	0,00E+00	0,00	*
<u>A-SDP</u>	m	7,72E+00	1,79	23,12	5,74E+01	0,15	0,27	1,89E+01	2,59	13 68	1,90E-03	0,00	93,03	1,18E-01	0,05	39,75
<u>A-SAA</u>	m	7,59E-01	0,01	1,02	2,61E+00	0,00	0,00	1,67E+01	1,40	8 42	7,90E-04	0,00	93,01	0,00E+00	0,00	*
<u>A-SEE</u>	unidade	7,03E+00	0,81	11,51	2,69E+02	0,05	0,02	2,84E+01	3,10	10 93	8,57E-04	0,00	91,92	0,00E+00	0,00	*
<u>A-P</u>	m ²	3,42E+00	2,42	70,90	2,63E+00	0,06	2,10	1,20E+01	0,98	8 22	1,98E-03	0,00	92,97	0,00E+00	0,00	*
<u>A-MF</u>	m	1,21E+00	0,87	71,86	2,74E+01	0,02	0,07	1,28E+01	1,07	8 34	5,92E-04	0,00	92,92	5,63E-02	0,02	39,75
DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES	Unidade	POLUIÇÃO DA ÁGUA (PA)			USO DE RECURSO - MATERIA PRIMA (URMP)			RESÍDUO (RCD)			USO DA ÁGUA (UA)			USO DE ENERGIA (EU)		
		(%)			(impacto total)			(t)			(L)			(Mj)		
		MÉDIA	D- P	COEF. VAR.	MÉDIA	D- P	COEF. VAR.	MÉDIA	D- P	COEF. VAR.	MÉDIA	D- P	COEF. VAR.	MÉDIA	D- P	COEF. VAR.
<u>A-T</u>	m ³	3,05E-04	0,00	147,23	0,00E+00	0,00	*	1,95E-01	0,15	78,70	3,04E+00	3,22	106,17	1,61E+01	0,77	4,76
<u>A-SDP</u>	m	2,46E-04	0,00	72,66	1,07E-12	0,00	0,00	4,62E-03	0,00	0,03	1,67E+01	0,00	0,00	5,03E+02	12,12	2,41
<u>A-SAA</u>	m	7,02E-05	0,00	72,54	7,96E-14	0,00	0,00	2,76E-05	0,00	2,42	0,00E+00	0,00	*	9,87E+01	0,02	0,02
<u>A-SEE</u>	unidade	0,00E+00	0,00	*	2,14E-12	0,00	0,00	0,00E+00	0,00	*	7,92E+01	0,00	0,00	2,45E+03	2,41	0,10
<u>A-P</u>	m ²	1,76E-04	0,00	72,60	1,03E-11	0,00	0,00	1,53E-02	0,00	0,00	1,18E+01	0,07	0,62	1,33E+01	1,79	13,53
<u>A-MF</u>	m	5,27E-05	0,00	72,60	5,10E-13	0,00	0,00	2,21E-03	0,00	0,01	8,00E+00	0,00	0,00	2,40E+02	5,79	2,41

Nota: *Coeficiente de variação não determinado devido a presença de média nula, haja vista ausência do aspecto ambiental na referida atividade dos projetos;

D-P: Desvio padrão; COEF. VAR.: Coeficiente de Variação.

Fonte: Autor, 2021.

Os resultados dos ambientais Emissões de Gases do Efeito Estufa, Uso de Recursos e Materia-Prima, Uso da Água e Uso de Energia apresentaram coeficiente de variação nulo devido à padronização das premissas adotadas pelo autor dos fatores de emissões de KgCO_2 do material/transporte, coeficiente de impacto, intensidade de uso de água e energia embtida do material/transporte. As Partículas Totais em Suspensão sofreram as influências das condições de precipitação e vento adotadas para cada um dos três locais, logo os fatores de emissões de deslocamento e carga e descarga foram influenciados pelas condições ambientais, com coeficiente de variação e desvio-padrão significativo. Os quatro que obtiveram maiores variações foram Alteração do Solo, Poluição das Águas, Poluição do Solo e Resíduos da Construção e Demolição, devido às diferentes concepções dos partidos urbanísticos, produzindo áreas de construção e volumes de trabalho totalmente distintos. Os resultados do aspecto ambiental Poluição Sonora para os projetos A, B e C foram influenciados pelas distâncias entre a fonte emissora de ruído (equipamentos) e o receptor (vizinhança), diferente para cada condição local de canteiro de obras.

A elaboração do inventário confirmou a flexibilidade da metodologia aplicada em três casos reais diferentes, onde alguns aspectos ambientais sofreram influência direta e indireta dos fatores ambientais e obtiveram o desvio-padrão e coeficiente de dispersão elevados. No entanto, outros aspectos ambientais que não sofreram influência dos fatores ambientais dos projetos registraram uma menor dispersão. A metodologia apresentou, de forma matemática e objetiva, a variação dos resultados dos aspectos ambientais na construção civil.

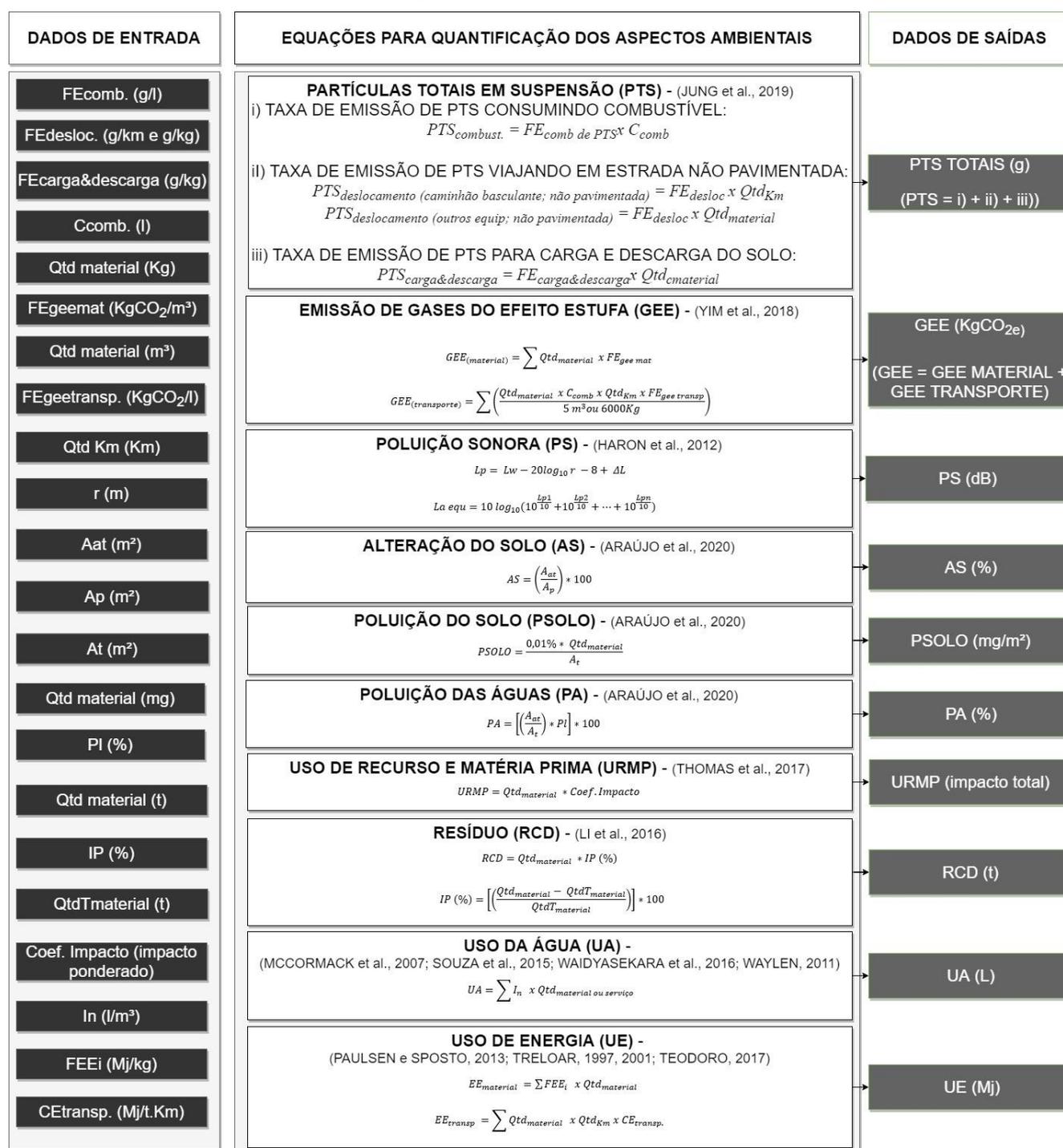
5.2.5 Resultado da Identificação das Causas dos Aspectos Ambientais

As informações obtidas nas equações para elaboração do fluxograma (figura 22), as quantificações (quadro 13) e os resultados do inventário (tabela 3) ajudaram na construção do diagrama de *Ishikawa* (figura 23) e conseqüente confirmação do que causou cada aspecto ambiental.

O fluxograma apresenta os dados de entradas para proceder na quantificação dos aspectos ambientais. Ficou evidenciado que fatores como quantidade de materiais e/ou serviços influenciaram diretamente cinco aspectos ambientais: Emissões de Gases do Efeito Estufa, Poluição do Solo, Resíduos da Construção e Demolição, Uso da Água e Uso de Energia. Os fatores de emissões incorporados aos

materiais e/ou ao processo induziram diretamente: Emissões de Gases do Efeito Estufa, Partículas Totais em Suspensão e Uso de Energia, logo o tipo do material influenciou na quantificação do aspectos ambiental. Os dados de entrada relacionados à concepção do projeto, tais como: área da atividade construtiva, área de preservação e área total interferiram nos resultados da Alteração do Solo, da Poluição do Solo e da Poluição das Águas. As variáveis da intensidade de água incorporada nos materiais e energia embutida nos materiais atuaram nos valores do Uso da Água e do Uso de Energia, respectivamente (figura 22).

Figura 22 – Fluxograma das Causalidades dos Aspectos Ambientais



Fonte: Autor, 2021.

O quadro 13 apresentou os resultados das quantificações absolutas dos aspectos ambientais das atividades construtivas nos três projetos analisados com os dez aspectos ambientais em seis atividades construtivas.

E a tabela 3 agrupou os resultados e gerou o inventário dos aspectos ambientais das atividades construtivas, tendo como amostra estatística os três casos

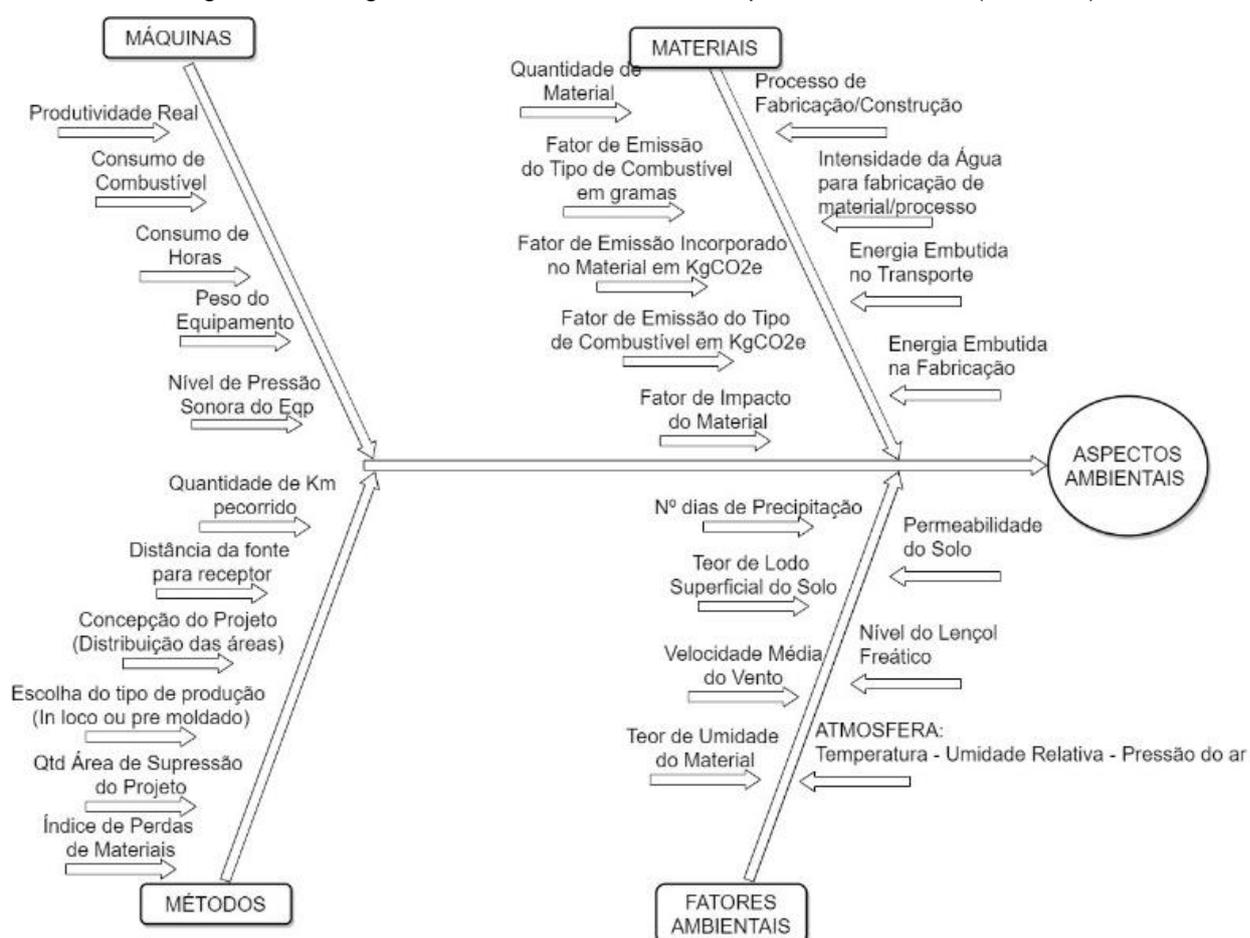
Velocidade Média do Vento	.		.							
Teor de Umidade do Material	.		.							
Permeabilidade do Solo					.	.				
Nível do lençol Freático					.	.				
Atmosfera: Temperatura – Umidade Relativa – Pressão do Ar	.		.							

Fonte: Autor, 2021.

A primeira categoria denominada de máquinas reuniu os seguintes resultados de cinco causas: produtividade, consumo de horas, consumo de combustível, peso do equipamento e nível de pressão sonora do equipamento. Na segunda categoria relacionada aos materiais, nove causas foram identificadas: quantidade de material, fator de emissão de Partículas Totais em Suspensão do tipo do combustível, fator de emissão incorporado no material, fator de emissão do Emissões de Gases do Efeito Estufa do tipo do combustível, fator de impacto do material, processo de fabricação/construção, intensidade de água para fabricação do material/processo, energia embutida no transporte e energia embutida na fabricação.

Na categoria denominada de métodos, apenas seis fatores causais foram descobertos: o índice de perdas dos materiais, a quantidade da área de supressão do projeto, a escolha do tipo de produção (*in loco* ou pré-moldado), a concepção do projeto (distribuição das áreas), a distâncias da fonte ao receptor e a quantidade de quilômetros percorridos. Nos resultados da última categoria, definida como fatores ambientais, foram reconhecidas sete causas: número de dias de precipitação, teor de lodo superficial do solo, velocidade média do vento, teor de umidade do material, permeabilidade do solo, nível do lençol freático e atmosfera (temperatura, umidade relativa, pressão do ar).

O diagrama de causa e efeito (*Ishikawa*) auxiliou na organização da procura das causas, onde o problema foi inserido na extremidade da seta e quatro categorias foram colocadas na parte superior dos traços diagonais (espinhas) e apontada as causas de cada categoria que contribuíram de forma direta e indireta na quantificação dos aspectos ambientais (Figura 23).

Figura 23 – Diagrama de Causa e Efeito dos Aspectos Ambientais (*Ishikawa*)

Fonte: Autor, 2021.

O diagrama de causa e efeito demonstrou uma sinergia das máquinas, métodos, materiais e fatores ambientais nas quantificações dos dez aspectos ambientais. Neste estudo foram identificados os *links* das causas dos aspectos ambientais na categoria máquinas, onde a produtividade real, peso e consumo de horas dos equipamentos influenciaram no consumo de combustível.

5.3 ANÁLISE SUMÁRIA DOS RESULTADOS

O critério duração foi calculado a partir de um cronograma padrão para os três casos reais, com as seguintes durações: terraplenagem: 150 dias; sistema de drenagem pluvial: 120 dias; sistema de abastecimento de água: 210 dias; sistema de energia elétrica: 150 dias; pavimentação: 600 dias e meio-fio: 600 dias. Os valores das durações foram transformados em escalas de pontuações de 1 até 5, com os seguintes resultados: 2; 1; 2; 2; 5 e 5, respectivamente.

O critério severidade correspondeu às respectivas quantidades das atividades construtivas obtidas nos orçamentos e foram apresentadas na forma de valores absolutos (Quadro 13), e posteriormente transformadas em escalas de 1 até 5 apresentadas na matriz B de cada projeto. Os resultados das matrizes B dos casos reais apresentaram uma similaridade esperada, onde reforçou a capacidade quantitativa da metodologia. A terraplenagem foi mais impactante nos projetos A, B e C, com sete aspectos com escala máxima (pontuação 5): Partículas Totais em Suspensão; Emissões de Gases do Efeito Estufa; Poluição Sonora; Poluição das Águas; Resíduos da Construção e Demolição e Uso de Energia no projeto A e Partículas Totais em Suspensão; Poluição Sonora; Alteração do Solo; Poluição das Águas e Resíduos da Construção e Demolição nos projetos B e C. As diferenças dos resultados do projeto A para o projeto B e C foram: Emissões de Gases do Efeito Estufa e Uso de Energia com escala 5 no projeto A; Emissões de Gases do Efeito Estufa com escala 2 e Uso de Energia com escala 1 no projeto B e Emissões de Gases do Efeito Estufa com escala 3 e Uso de Energia com escala 4 no projeto C. Os resultados correspondem com o volume de terraplenagem dos projetos A; B e C, foram: 191.461,24m²; 20.340,32m² e 104.399,08m², respectivamente. Os resultados da matriz C dos projetos apresentam cinco aspectos significativos: Emissões de Gases do Efeito Estufa; Alteração do Solo; Poluição das Águas; Uso da Água e Uso de Energia.

O resultado do inventário ambiental foi apresentado em duas etapas. A primeira etapa foi a obtenção dos valores unitários dos aspectos ambientais dos três projetos. O projeto B foi o mais impactante em termos unitários da severidades em comparação com os projetos A e C, com os seguintes aspectos ambientais máximos: Partículas Totais em Suspensão; Emissões de Gases do Efeito Estufa; Poluição Sonora; Uso de Recursos e Materia-Prima; Resíduos da Construção e Demolição; Uso da Água e Uso de Energia. Ficou evidente a relação do Uso de Recursos e Materia-Prima com Resíduos da Construção e Demolição, como também Emissões de Gases do Efeito Estufa e Uso de Energia.

E o aspecto Uso da Água demonstrou um alto consumo unitário em relação com a área construída; a Poluição Sonora foi motivada pelo pequena distância da fonte emissora ao receptor e o Partículas Totais em Suspensão teve a participação das condições ambientais (precipitação e umidade do solo) local. A segunda etapa foi a construção do inventário numérico através das medidas descritivas estatísticas, os

aspectos ambientais: Emissões de Gases do Efeito Estufa; Uso de Recursos e Materia-Prima; Resíduos da Construção e Demolição; Uso da Água e Uso de Energia apresentaram coeficiente de variação mínimo, sugerindo a possibilidade de utilização da média como indicador para quantificação da severidade.

Os resultados da identificação das causas dos aspectos ambientais exibiram quatro categorias causais: máquinas, materiais, métodos e fatores ambientais, onde a tomada de decisão na fase de pré-construção pode melhorar a performance ambiental do projeto em três categorias: máquinas; materiais e métodos.

Os resultados desta metodologia podem ser utilizados na prática pelas empresas loteadoras, ainda na fase de pré-construção para reduzir, eliminar e mitigar os futuros impactos ambientais. As informações podem ser utilizadas pelo setor de planejamento das empresas com o objetivo de melhorar a performance ambiental do projeto, além das quantificações servirem de *base line* para comparações dos impactos ambientais medidos na fase de construção.

6 DISCUSSÃO

A metodologia deste estudo foi aplicada na fase pré-construção o que possibilitou o reconhecimento dos aspectos ambientais com base nos projetos e nos planejamentos das atividades construtivas. Para Al-Reshaid et al. (2005); Gangoellis et al. (2009) e Santos et al. (2020), as abordagens na fase pré-construção permitiram aos executores dos projetos a realização de monitoramento e controle dos aspectos para o sucesso dos projetos de construção. De Paula e Melhado (2018) relataram que o gerenciamento da informação nos projetos foi um ponto importante para o desenvolvimento do *design* com requisito sustentável.

O critério duração foi eleito, diante da importância do período de incômodo e/ou exposição ao ambiente natural e às pessoas, e 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 Gangoellis et al. (2009) que calcularam a duração de um impacto ambiental em relação a duração da fase de construção.

De forma inovadora, nesta pesquisa o critério de severidade 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. Anteriormente, o critério severidade foi avaliado levando em consideração percepções de especialistas através da aplicação de escalas de intervalos (BORJA et al., 2018; CHEN; LI; WONG, 2000; GANGOLELLS et al., 2009). Os estudos progressos avaliados utilizaram apenas um aspecto ambiental - partículas totais em suspensão ou poluição por metais ou qualidade do ar – para calcular o critério severidade (FU; ZHANG, 2020). E as decisões relativas aos investimentos das infraestruturas se basearam em avaliações ambientais complexas (VAN ELDIJK et al., 2020).

A análise do desempenho dos aspectos ambientais desta pesquisa utilizou um modelo matricial, onde a duração foi multiplicada pela severidade e forneceu o resultado de cada aspecto ambiental de cada projeto. Dos dez aspectos ambientais, cinco foram os mais impactantes nos três projetos: Emissões de Gases do Efeito Estufa, Alteração do Solo; Poluição das Águas; Uso da Água e Uso de Energia, justamente pela tipologia da construção que demandou uma grande quantidade de

equipamento que impactaram diretamente a atmosfera, o solo e a água. Gangolells et al. (2009); Johnston; Hutchison; Smith (2000); Whitelaw (2004) e Zobel e Burman (2004), também utilizaram os modelos matriciais como ferramenta na avaliação ambiental em suas pesquisas. Enquanto, Chen; Li; Wong (2005); Eom e Paek (2009); Shen et al. (2005) e Tam, C. M.; Tam, V. W. Y.; Tsui (2004) fizeram usos de modelos de métodos multicritérios.

Na comparação dos projetos A, B e C normalizada dos aspectos ambientais foram identificados cinco aspectos ambientais reincidentes com valores máximos. O primeiro foi a Emissões de Gases do Efeito Estufa fortalecido pelo emprego de equipamentos movidos a combustíveis fósseis e uso de materiais de construção com grande demanda de CO₂ incorporado na linha de produção. Corroborando com Gieseckam et al. (2014) que afirmaram que as emissões incorporadas nos materiais foram uma proporção considerada e crescente do total atribuível ao ambiente construído. Para Akan; Dhavale; Sarkis (2017), a fabricação e o transporte sustentável do cimento e concreto desempenham um papel importante na redução das Emissões de Gases do Efeito Estufa. Embora a otimização das emissões na fase de construção acarretaram uma parcela menor de impacto na comparação do ciclo de vida geral, é importante examinar seu significado a curto prazo (SANDANAYAKE; ZHANG; SETUNGE, 2019). Conforme relataram Halonen et al. (2021), que o entendimento das fontes de poluentes atmosféricos foram essenciais para a promoção de ambientes mais limpos e sustentáveis, unidos a visão da pesquisa de Voordeckers et al. (2021), que os parâmetros espaciais de planejamento urbano interferiram na capacidade de ventilação local e mitigaram ou agravaram a concentração de poluição atmosférica local.

A Poluição Sonora foi outro aspecto ambiental máximo em todos os projetos devido ao uso intenso de máquinas e equipamentos no canteiro. Reafirmando as descobertas de Waddington et al. (2000) que observaram os níveis de ruídos dos equipamentos, e variações das características da origem pelas operações ao longo da obra, que apresentam situações distintas como equipamento desligado, em marcha lenta, operando com carga leve ou operando com carga pesada. Por isso, além das previsões dos ruídos, Araújo et al. (2012) relataram a importância de estudar o efeito, dimensão e propagação dos ruídos em campo.

O terceiro aspecto ambiental foi o Uso de Recursos e Materia-Prima que atingiu níveis máximos na soma das médias das seis atividades com 1,1132E-11 impacto

total, diante da necessidade de material para as atividades de infraestrutura representado pelo consumo significativo de materiais. O que já havia sido reconhecido por Zhong e Wu (2015) que relataram a maneira como o mundo usou recursos naturais globais no passado e gerou impactos no meio ambiente relativos ao esgotamento dos recursos naturais. Para Giama e Papadopoulos (2015), o uso de recursos foi ponto coronário dos impactos ambientais dos materiais de construção. E a avaliação do ciclo de vida funcionou como ferramenta na avaliação da sustentabilidade nos setores industriais (PRADEL; GARCIA; VAIJA, 2021). E Hoxha; Haugen; Bjorberg (2017) reconheceram os benefícios dos materiais sustentáveis nas questões de satisfação dos usuários, qualidade, segurança, eficiência, durabilidade, acessibilidade e facilidade de manutenção.

O Uso da Água demandou nas três obras um alto valor de consumo, independente das características, e foi observado o consumo incorporado e operacional expressivo. Atestado também por Waidyasekara; De Silva; Rameezdeen (2017) que ratificaram a importância do gerenciamento dos recursos hídricos durante as construções e exigiram cuidados dos gerentes de projetos/construção, tanto no estágio de planejamento, quanto na execução do projeto. Marinho; Gonçalves; Kiperstok (2014) mencionaram que o controle do consumo de água deveriam ser divulgados ao máximo que possível. E a água precisa ser alocada e usada de maneira economicamente eficiente, como ressaltam Hoekstra et al. (2011).

O aspecto ambiental Uso de Energia foi elevado, devido as características das obras de infraestrutura com a utilização de equipamentos e os consumos de materiais para produção de suas atividades justificaram a sua elevada pontuação do aspecto ambiental Uso de Energia. Corroborando com Citherlet e Defaux (2007) que alertaram que os impactos ambientais do consumo de energia causados pelas infraestruturas, ou sua produção, foram negligenciados por causa da comparação com os impactos gerados pela utilização. Shan et al. (2021) confirmaram a cointegração da inovação de tecnologia verde, energia renovável e consumo de energia. Segundo Sartori e Hestnes (2007), a crescente conscientização dos problemas ambientais relacionados aos processos energéticos, juntamente com uma tendência cada vez maior da demanda de energia pelo setor da construção, levou os projetistas a desenvolverem critérios de projetos com maior eficiência energética. Segundo Jansen; Mohammadi; Bokel (2021), a necessidade de energia, não pode contar apenas com o aumento da produção de energia limpa, e sim, a redução deve ser parte fundamental da solução.

A decisão pela elaboração do modelo das causas e efeitos dos aspectos ambientais das infraestruturas na fase pré-construção para etapa final da pesquisa teve como propósito representar de forma objetiva os principais elementos causadores dos aspectos ambientais. Uma revisão sistemática apontou os dez principais aspectos ambientais (ARAÚJO; CARNEIRO; PALHA, 2020a). Os autores Perdicoúlis e Piper (2008) ratificaram a importância que as causalidades possuem para obtenções de informações adequadas, assim como Fuertes et al. (2013) desenvolveram um modelo causal para alcançar melhores níveis de desempenho ambiental.

Min et al. (2018) ressaltaram que as propostas podem aumentar a compreensão dos projetos de construção por meio da análise estruturada sobre como o conflito ocorre e o que o causa. Admitido por Guerin (2015) que reforçou que as informações de análise de causa raiz podem ser preditivas, mas o conhecimento da vulnerabilidade pode ajudar a eliminar os resultados do estado atual, o que contribui na performance dos projetos de construção na dimensão ambiental.

O inventário possibilitou a criação do primeiro banco de dados com base em três projetos. Corroborando com Kim et al. (2013) que desenvolveu um banco de dados de acidentes de projetos de construções de rodovias e aplicaram análise de variância e tabulação cruzada para identificar as causas. Nahuelhual et al. (2012) identificaram as mudanças da cobertura do solo com uso do sistema de imagem e satélite aplicado no modelo de regressão linear para estimar a mudança de paisagem. E Hong et al. (2020) aplicaram análise de árvore de decisão e técnicas de correlações nos poluentes ambientais dos canteiros de obras.

O fluxograma (Figura 23) foi desenvolvido para facilitar a quantificação e identificação das variáveis necessárias para os cálculos dos aspectos ambientais, fornecendo uma compreensão objetiva na construção do diagrama de Ishikawa. Corroborando com Perdicoúlis e Piper (2008) que mencionaram que os diagramas de rede e sistemas foram bons meios para explorar a relação de causa e efeito ou causalidade das avaliações.

Vale ressaltar que a construção do fluxograma concedeu também o conhecimento das causas principais, que potencializaram os efeitos quantitativos dos aspectos ambientais, com previsibilidade de forma objetiva. Para Broo et al. (2021), o propósito das metodologias de planejamento de cenário não foi a previsão do futuro,

mas o fornecimento imediato de informações que permitisse aos gestores uma melhor tomada de decisão.

De forma subjetiva, outros pesquisadores utilizaram ferramentas da gestão da qualidade como uso de opiniões de especialistas. Formoso et al. (2002) adotaram as sessões de *Brainstorming*, e com base nas opiniões das equipes, identificaram as principais causas dos resíduos na indústria da construção. De forma diferente nesta pesquisa, os fatores causais foram identificados para fornecer resultados objetivos, rápidos e assertivos dos possíveis aspectos ambientais das obras de infraestrutura, eliminando assim a subjetividade dos especialistas, usuários e desenvolvedores das metodologias.

O primeiro aspecto ambiental - **Partículas Totais em Suspensão** - comprovou que a terraplenagem foi induzida pelas condições ambientais, tais como: dias de precipitação, velocidade do vento, taxa de lodo superficial nas estradas não pavimentadas e nas condições da concepção do projeto com a definição das distâncias médias de transporte. Vale ressaltar que a precipitação não causa a poluição, e sim serve como mecanismo para potencializar as poluições existentes, tais como: partículas em suspensão no ar, falta de cobertura vegetal e erosões. Afirmando por Fedorova et al. (2021) que existem influências das informações sobre intensidade da chuva, taxa de pressão do vento e tamanho da gota de água na poluição atmosférica. Corroborando com Hong et al. (2020) que ressaltaram que a principal causa das emissões de Partículas Totais em Suspensão em canteiros de obras ocorre na atividade de terraplenagem pelo uso de equipamentos pesados (escavadeira, trado de terra, caminhão basculante, guindaste e etc) e o vento, atmosfera e a poeira de fundo foram indicados como variáveis para medição deste aspecto ambiental. Jung et al. (2019) comprovaram que a concentração de poeira dispersa do canteiro de obras mudou pela frequência da direção do vento e dos obstáculos do terreno. Logo, a variável da velocidade do vento influenciou a quantificação dos fatores de emissões de Partículas Totais em Suspensão nos três casos reais. Muleski; Kinsey; Cowherd (2005) afirmaram que as distâncias típicas de transporte produziram cerca de dez vezes mais a massa das emissões das operações de carregamento e descarregamento. Logo, a racionalidade, planejamento e dimensionamento dos processos de operações das máquinas tornam-se medidas necessárias tanto ambientalmente como economicamente.

No caso do **Emissões de Gases do Efeito Estufa**, os fatores causais que potencializaram os resultados foram o tipo de combustível e o processo de fabricação dos materiais, que motivou a adoção dos fatores de emissões de KgCO_2 e significativos, além das condições da concepção do projeto que apresentaram fatores como distância percorrida e quantidade de material. Em concordância com Zhang et al. (2021) que reconheceram a indústria da construção como uma das maiores contribuintes para as emissões de carbono. Legitimado por Kennedy; Zhong; Corfee-Morlot (2016) que reconheceram as graves consequências globais do aumento das concentrações atmosféricas de gases do efeito estufa antropogênico causados pelo consumo de combustíveis fósseis e na fabricação do cimento. Para Muthukannan; Sankar; Ganesh (2018), as fábricas de produção de materiais de construção tiveram um forte impacto no aquecimento global, destruição da camada de ozônio, acidificação e eutrofização, e cada fase contribuiu com sua própria quantidade de poluentes direta ou indiretamente para a atmosfera e a terra.

A **Poluição Sonora** foi influenciada pela quantidade e pelo nível de pressão sonora emitida dos equipamentos. Também pelas condições geográficas locais do projeto definido pela distância da fonte (equipamentos) ao receptor (vizinho). A atividade de terraplenagem gerou nos projetos A, B e C as maiores poluições com 70,86 dB, 67,74 dB e 76,76 dB, respectivamente. Os valores superaram o limite de 50 dB estabelecido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2000) através da Norma Regulamentadora Brasileira nº 10.151/2000 indicado para áreas estritamente residencial urbana no período diurno. Confirmado por Hong et al. (2020) que associaram as variáveis do plano de construção e climáticas como os fatores que afetaram as emissões de ruído em canteiros de obras. Para Jung et al. (2020a), a exposição dos residentes ao ruído da construção resultaram em vários distúrbios mentais e físicos, como aborrecimento, estresse e déficit auditivo. Attal et al. (2021) declararam que a preservação das áreas verdes minimizaram o ruído, sendo uma solução eficiente.

As concepções dos projetos influenciaram os resultados do aspecto ambiental **Alteração do Solo**, onde a relação da área da atividade construtiva pela área de preservação identificou o percentual de alteração do solo de cada uma das seis atividades construtivas, e demonstrou que a atividade construtiva de terraplenagem obteve uma significativa alteração do solo com 74,80%, 213,45% e 26,76% nos projetos A, B e C, respectivamente. Apesar de ausência de estudos que quantifiquem

as alterações do solo, os pesquisadores abordam de forma conceitual a importância de tal tema. De forma geral, Honeck et al. (2020) afirmaram que a urbanização promoveu consequências graves à biodiversidade e a provisão de benefícios do ecossistema para as pessoas, complementado por Jost et al. (2021), que atestaram que as decisões sobre o uso do solo tiveram consequências irreversíveis. Ratificado por Kabir e Morgan (2020), que mencionaram a inadequação das informações ambientais nos documentos de planejamento urbano, onde indicaram que houve pouca influência de avaliações estratégicas sobre os tomadores de decisão para incorporar as informações ambientais de forma adequada no processo de planejamento urbano. E Pauleit; Ennos; Golding (2005) consideraram que um aumento de superfícies construídas substituíram os espaços verdes, e Domingo; Palka; Hersperger (2021) afirmaram que a impermeabilização constituíram um novo desafio para o desenvolvimento urbano sustentável.

Em relação ao **Poluição do Solo**, as atividades construtivas que manipularam materiais de construção no local da obra obtiveram chances maiores de contaminação do solo, logo fatores como quantidade de material manipulado em miligramas e a área total da obra foram identificados como principais fatores causais. Em consonância com Cao et al. (2018) que narraram que os incidentes ambientais das substâncias tóxicas e prejudiciais entraram em contato com o ar, a água e o solo pelas descargas dos poluentes, dos desastres ambientais, dos acidentes de segurança de produção e outros problemas. E segundo Guerin (2014, 2002), a contaminação do solo pode conter metais, além de contaminantes orgânicos, ficando evidenciado que os derramamentos ocorreram predominantemente na área de terraplanagem no local da construção.

Os três fatores causais da **Poluição das Águas** identificados foram as precipitações locais das regiões, os métodos empregados no plano de construção pela supressão total da vegetação influenciado pela área de atividade construtiva e as áreas totais dos empreendimentos. Guerin (2014) publicou que as contaminações dos produtos escoados no terreno representaram um risco à segurança e contribuíram para a poluição do lençol freático. Em complemento, o estudo de Kennedy; Zhong; Corfee-Morlot (2016) verificou que a vegetação urbana amortece a poluição, melhora a qualidade de vida e ameniza o clima das cidades durante as tempestades e ondas de calor, impacto esses importante ao meio ambiente.

Como o aspecto ambiental **Uso de Recursos e Matéria-Prima** foi calculado pela metodologia de avaliação do ciclo de vida, os fatores causais ficaram relacionados ao tipo do material empregado influenciando no coeficiente de impacto ambiental estipulado pelo inventário do ciclo de vida do material e pela quantidade de material utilizada no projeto. O que corrobora com Muthukannan; Sankar; Ganesh (2018) que relataram a poluição ambiental foram proveniente da extração das matérias-primas até o empacotamento dos materiais. Também certificado por Feese; Li; Bulleit (2015) que aplicaram estudos do ciclo de vida nas construções e detectaram que a fase de construção apresentou maior consumo de energia e emissões de CO₂ associados principalmente ao uso e transporte do concreto. Porém Fulton et al. (2020) ressaltaram que a compensação de carbono pode ser alcançada, reduzindo com isso o impacto do ambiente construído no planeta.

O estudo de Kolaventi et al. (2020) relatou que a identificação das causas de desperdício foi o primeiro passo na obtenção da minimização dos resíduos e Casanelles-Abella et al. (2021) afirmaram que a redução dos resíduos como um caminho crítico para aceleração do desenvolvimento sustentável. Vários estudos interligaram as causas da geração de resíduos com as inadequações dos projetos (BOSSINK; BROUWERS, 1996; GANGOLELLS et al., 2014; LLATAS, 2011; MARRERO, 2011; OSMANI; GLASS; PRICE, 2008; SOLÍS-GUZMÁN et al., 2009; VILLORIA SÁEZ; DEL RÍO MERINO; PORRAS-AMORES, 2012), como também aos métodos construtivos (KIM et al., 2006). Portanto, este estudo ao identificar que as atividades de terraplenagem, condicionadas pelas concepções dos projetos de movimentação de terra, motivaram diretamente os resultados elevados das quantidades de bota-fora de solo como resíduos da construção forneceu oportunidades para redução os **Resíduos da Construção e Demolição** através da racionalização dos projetos.

O **Uso da Água** elucidou como fatores causais as intensidades de água utilizadas no processo de produção dos elementos construtivos das atividades e os volumes de águas empregadas nos serviços de terraplenagem e pavimentação para compactação do solo e do colchão de areia, respectivamente. Corroborando com Bardhan (2011) que identificaram os materiais de construção como os grandes consumidores de água em seus processos de fabricação por meio de extração e processamento. Ratificado por McPherson (2009) que concluiu que os materiais introduziram custos operacionais e impactos ambientais significativos. Waidyasekara;

De Silva; Rameezdeen (2016) observaram que a dificuldade no uso racional da água nos canteiros de obras foi o baixo custo de aquisição do recurso hídrico.

Para o **Uso de Energia**, os fatores causais foram fatores de energia embutida na produção dos materiais e o consumo energético do transporte de cargas relativo ao tipo de material e tipo de combustível, respectivamente. Além das condições da concepção dos projetos na fase de planejamento, na definição e escolha dos materiais, e na logística da construção relacionada ao recebimento e aplicação dos materiais nas atividades construtivas definidas. Vanek (2002) afirmou que o consumo de energia do transporte teve menor impacto do que o componente de fabricação dos produtos. Observou-se neste artigo que dependendo das distâncias definidas pelo plano de construção, os impactos do consumo de energia no transporte podem ser significativos, como na atividade de terraplenagem. Segundo Jung et al. (2020b), a redução dos custos de construção pode melhorar o índice de autossuficiência por meio da geração de energia distribuída. Para Kennedy; Zhong; Corfee-Morlot (2016), as oportunidades para melhoria na eficiência energética na indústria seriada foram maiores que as oportunidades para edifícios e veículos.

Apesar de Kolaventi et al. (2020) também utilizarem o diagrama de *Ishikawa*, aplicaram-no somente ao aspecto ambiental Resíduos na indústria da construção civil na Índia. Este estudo ampliou a utilização do diagrama de *Ishikawa* para vários aspectos ambientais produzidos nos canteiros de obras visando contribuir para o desenvolvimento sustentável na indústria da construção. Para Huang et al. (2021), o desenvolvimento ecológico e sustentável é uma tendência para a indústria da construção e da infraestrutura na promoção da ecologização do mundo.

Na categoria métodos revelou que as concepções dos projetos impactaram na quantidade de quilômetros percorridos e na distância da fonte ao receptor. Para De Paula e Melhado (2018), as decisões durante o estágio do desenvolvimento dos projetos são importantes para atender aos requisitos de sustentabilidade. O método construtivo condicionou os resultados das perdas dos materiais para os dez aspectos. De Paula e Melhado (2018) afirmaram que os requisitos e barreiras para a construção sustentável se referem aos métodos.

A categoria materiais escolhidos tiveram consequências importantes na quantificação dos aspectos ambientais, devido aos mecanismos de produção que interferiram nos fatores de emissões do tipo do combustível, nos fatores de emissões incorporados nos materiais, nos fatores de impactos, nas intensidades de uso de água

incorporada na produção, no consumo de energia embutida na fabricação, no processo de construção e na quantidade de material. Corroborando com Beckford (2002), que considerou os materiais como uma das categorias principais apropriada ao diagrama de *Ishikawa*. Já que Yahya e Halim Boussabaine (2006) reconheceram o significativo consumo de matéria-prima da indústria da construção.

Em relação à categoria da fatores ambientais, os dias de precipitação, teor de lodo superficial do solo, velocidade média do vento e teor de umidade do material, a permeabilidade do solo, nível do lençol freático e atmosfera (temperatura, umidade e pressão do ar) fomentaram as variações das partículas totais em suspensões, poluição do solo e poluição das águas. Corroborando com Fuertes et al. (2013) que apresentaram a interação do local de trabalho aos impactos ambientais.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As considerações finais foram divididas em quatro tópicos. As contribuições desta pesquisa, em seguida os impactos para sociedade no âmbito gerencial, as limitações e as pesquisas futuras sugerindo novas oportunidades na continuidade deste trabalho.

7.1 CONTRIBUIÇÕES

A metodologia proposta contribuiu para quantificação e identificação das causas, de forma sistemática e objetiva, dos aspectos ambientais fornecendo a previsibilidade quantitativa e qualitativa dos aspectos ambientais, com a aplicação do método em três casos reais de infraestrutura urbana durante a fase de pré-construção. A metodologia – com o uso de informações objetivas dos casos reais – revelou a dimensão quantitativa e qualitativa dos aspectos ambientais e possibilitará intervenções precoces em projetos pela a indústria da construção reduzindo custos financeiros, impactos ambientais e tempo. A aplicação da metodologia fornecerá benefícios para os engenheiros responsáveis pela elaboração do plano de construção, para as empresas construtoras e para os pesquisadores na área de sustentabilidade e construção civil no reconhecimento antecipado dos possíveis aspectos ambientais promovidos pelas atividades construtivas.

O aspecto ambiental de maior impacto foi Emissões de Gases do Efeito Estufa em dois dos três casos reais com 61 pontos (Projeto A) e 55 pontos (Projeto C) e os aspectos ambientais Alteração do Solo e Poluição das Águas com 53 pontos (Projeto B). Houve seis atividades de infraestrutura urbana presentes nos casos reais: terraplenagem, drenagem, sistema de abastecimento de água, sistema de energia elétrica, pavimentação e meio fio. A atividade de terraplenagem obteve pontuação máxima em cinco aspectos ambientais: Partículas Totais em Suspensão, Poluição Sonora, Alteração do Solo, Poluição das Águas e Resíduos da Construção e Demolição, sendo a atividade de maior potencial de degradação ambiental. E a atividade de sistema de energia elétrica alcançou pontuação mínima em sete aspectos ambientais: Partículas Totais em Suspensão, Alteração do Solo, Poluição do Solo, Poluição das Águas, Uso de Recursos e Matéria-Prima, Resíduos da Construção e

Demolição e Uso de Energia, representando a atividade com menor impacto ambiental.

Outra contribuição desta tese foi o desenvolvimento de uma metodologia capaz de quantificar e identificar as causas dos aspectos ambientais das atividades construtivas dos projetos de infraestrutura urbana, sem adotar opiniões subjetivas. Foram detectados poucos trabalhos (2,54%) que desenvolveram metodologias quantitativas para mensurar aspectos ambientais gerados pelas atividades e produtos da construção civil e que estas metodologias eram mais voltadas a habitações multifamiliares.

7.2 IMPACTOS PARA SOCIEDADE

O impacto foi no âmbito gerencial integrando as questões de produção das infraestruturas urbanas com as questões ambientais. Através do planejamento com base no orçamento e cronograma – pesquisadores e engenheiros – poderão utilizar o método para reconhecer antecipadamente os futuros impactos ambientais dos projetos de infraestrutura. A impossibilidade de gerenciar o que não se conhece, ou o que não se pode medir, impõe a necessidade da quantificação e da identificação para melhorar o monitoramento e controle dos impactos ambientais da construção civil.

A importância do gerenciamento na construção civil é mandatória para a compreensão e intervenção nos aspectos ambientais das dimensões quantitativas e qualitativas, alertando os efeitos danosos das atividades construtivas ainda na fase de pré-construção. As decisões dos projetos afetam as quatro categorias causais (método construtivo; materiais; máquinas e fatores ambientais) e estão diretamente relacionadas à sustentabilidade dos projetos de construção. Logo, o modelo proposto é útil para auxiliar na gestão do planejamento dos projetos e reduzir custos, prazos e impactos ambientais.

A elaboração do inventário facilitou a compreensão das variáveis das equações utilizadas nas quantificações dos aspectos ambientais, e demonstrou que algumas variáveis não podem ser controladas, interferindo diretamente nos resultados de cada projeto. Os resultados para as quantificações dos aspectos ambientais com coeficiente de variação zero – por exemplo Uso de Recurso e Matéria-Prima (URMP) – poderão ser utilizados como indicador para cada uma das seis atividades construtivas analisadas.

O modelo permite identificar os efeitos dos projetos no meio ambiente no final da fase de planejamento. Esta constatação é importante, porque relaciona diretamente a produtividade, a qualidade e o processo de seleção dos elementos dos projetos com os impactos ambientais gerados. E, a racionalidade na utilização dos recursos pode mudar o desempenho ambiental do projeto e impactar as relações de causa e efeito, antes do início da obra.

Este modelo não se restringe apenas à quantificação e à identificação das causas dos aspectos ambientais, mas também pode ser aplicado em decisões de produtividade dos projetos, em decisões de concepção do desenho urbanístico das infraestruturas e em decisões de seleção de materiais de construção.

7.3 LIMITAÇÕES

O método preditivo de avaliação dos aspectos ambientais desenvolvido neste estudo usou apenas dois critérios ambientais para quantificação dos aspectos ambientais. As decisões sobre o desempenho de um projeto não se baseiam unicamente em duração e severidade. E outras pesquisas poderão considerar mais critérios para avaliação de projeto.

A escala de intervalos de cinco pontos foi obtida com base nos dados quantitativos das atividades dos casos reais, onde a ausência de dados impossibilitou a construção de uma escala dentro de intervalos de confianças com base nos princípios estatísticos.

Apesar das análises terem tido como base nos três projetos reais de infraestrutura urbana, estas foram realizadas na fase pré-construção e seus resultados não puderam ser comparados aos resultados reais, bem como futuramente outras fases do ciclo de vida das construções para análise comparativa das previsões com os resultados reais das obras.

A inexistência de dados locais, como: fatores de emissões de gases do efeito estufa, níveis de pressão sonora dos equipamentos fabricado no Brasil, carga marginal de poluição do solo, coeficiente de impacto dos materiais adotados na avaliação de ciclo de vida impediam precisão das avaliações ambientais dos produtos, equipamentos e materiais tipicamente extraídos, processados, fabricados e produzidos no Brasil para quantificação do critério severidade. No entanto, a fim de minimizar possíveis imprecisões foram utilizados dados dos estudos internacionais.

7.4 PESQUISAS FUTURAS

Sugere-se a aplicação da metodologia em projetos localizados em outras regiões com características diferentes para observar as variações dos resultados e também a realização do acompanhamento/medição dos aspectos ambientais ao longo da fase de construção dos projetos para a comparação com os resultados obtidos na fase de pré-construção. Vale ressaltar que a execução desta metodologia no ciclo de vida da construção (pré-construção; construção; uso/manutenção; demolição) promoverá uma análise completa dos impactos ambientais.

Como sugestão, aplicar a metodologia em outras tipologias de obras da indústria da construção civil, tais como: infraestrutura pesada, edificações multifamiliares e unifamiliares.

Finalmente, poderá ser desenvolvido uma ferramenta “*software*” para calcular de forma automática o desempenho ambiental dos projetos com interoperabilidade das informações de cronograma e orçamento, e assim aplicar um método de tomada de decisão multicritério para classificar os projetos diante dos resultados obtidos no *software*. E através das avaliações, recomenda-se a construção de um banco de dados na *web* com informações de fácil acesso, para consulta e utilização em futuras avaliações ambientais de forma rápida e precisa.

REFERÊNCIAS

AKAN, Mahmure Övül Arıoğlu; DHAVALÉ, Dileep G.; SARKIS, Joseph. Greenhouse gas emissions in the construction industry: An analysis and evaluation of a concrete supply chain. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 167, p. 1195–1207, 2017.

AKBARI, Saeed; KHANZADI, Mostafa; GHOLAMIAN, Mohammad Reza. Building a rough sets-based prediction model for classifying large-scale construction projects based on sustainable success index. **Engineering, Construction and Architectural Management**, [s. l.], v. 25, n. 4, p. 534–558, 2018.

AL-RESHAID, Khaled et al. A project control process in pre-construction phases: Focus on effective methodology. **Engineering, Construction and Architectural Management**, [s. l.], v. 12, n. 4, p. 351–372, 2005.

AL-TMEEMY, Samiaah M. Hasse. M.; ABDUL-RAHMAN, Hamzah; HARUN, Zakaria. Future criteria for success of building projects in Malaysia. **International Journal of Project Management**, [s. l.], v. 29, n. 3, p. 337–348, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.03.003>>

ALWAN, Zaid; JONES, Paul; HOLGATE, Peter. Strategic sustainable development in the UK construction industry, through the framework for strategic sustainable development, using Building Information Modelling. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 140, p. 349–358, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.085>>

ANDRIĆ, Jelena M. et al. Understanding environmental incidents on construction sites in Australia: The causal factors, environmental impact and their relations. **Journal of Civil Engineering and Management**, [s. l.], v. 25, n. 7, p. 617–630, 2019.

APANAVIČIENE, Rasa et al. Sustainability aspects of real estate development: Lithuanian case study of sports and entertainment arenas. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 7, n. 6, p. 6497–6522, 2015.

ARAÚJO, Adolpho Guido De et al. Mapping of noise impact provoked by the execution of foundation piles at high rise building sites. **Work IOS Press**, [s. l.], v. 41, n. SUPPL.1, p. 3291–3300, 2012.

ARAÚJO, Adolpho Guido De; CARNEIRO, Arnaldo Manoel Pereira; PALHA, Rachel Perez. 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, Adolpho Guido De; CARNEIRO, Arnaldo Manoel Pereira; PALHA, Rachel Perez. Predictive methodology for the quantification of environmental aspects in urban infrastructures. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 12, n. 18, p. 1–25, 2020. b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**. Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimentos. Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro, Brasil, 2000. p. 4 pg.

ATTAL, Emmanuel et al. An optimal dimensioning method of a green wall structure for noise pollution reduction. **Building and Environment**, [s. l.], v. 187, n. October 2020, 2021.

BALL, Jonathan. Can ISO 14000 and eco-labelling turn the construction industry green? **Building and Environment**, [s. l.], v. 37, n. 4, p. 421–428, 2002.

BAMGBADE, J. A. et al. Analysis of some factors driving ecological sustainability in construction firms. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 208, p. 1537–1545, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.229>>

BANIHASHEMI, Saeed et al. Critical success factors (CSFs) for integration of sustainability into construction project management practices in developing countries. **International Journal of Project Management**, [s. l.], v. 35, n. 6, p. 1103–1119, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.01.014>>

BARDHAN, S. Assessment of water resource consumption in building construction in India. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, [s. l.], v. 144, n. April 2011, p. 93–101, 2011.

BECKFORD, John. **Quality**. Second ed. London, UK: Tayllor & Francis Group, 2002.

BELAYUTHAM, Sheila; GONZÁLEZ, Vicente A.; YIU, Tak Wing. 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.

BELL, Simon; MORSE, Stephen. **Sustainability indicators: Measuring the Immeasurable?** second ed. London: Earthscan, 2008. Disponível em: <www.earthscan.co.uk>

BENTIVEGNA, Vincenzo et al. A vision and methodology for integrated sustainable urban development: BEQUEST. **Building Research and Information**, [s. l.], v. 30, n. 2, p. 83–94, 2002.

BEZERRA, Marcelo R. D. V. de Mattos; OLIVEIRA, Alfredo Jefferson De. Qualificação qualiverde. In: (SBDS15, Ed.)5º SIMPÓSIO DE DESIGN SUSTENTÁVEL 2015, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro

BOCCHINI, Paolo et al. Resilience and sustainability of civil infrastructure: Toward a unified approach. **Journal of Infrastructure Systems**, [s. l.], v. 20, n. 2, p. 1–16, 2014.

BORJA, Luis Claudio 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.

BORJA, Luis Claudio A. et al. Getting environmental information from construction cost databases: Applications in Brazilian courses and environmental assessment. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 1–28, 2019.

BOSSINK, B. A. G.; BROUWERS, H. J. H. Construction Waste: Quantification and Source Evaluation. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], v. 122, n. 1, p. 55–60, 1996.

BROO, G. D. et al. Built environment of Britain in 2040: Scenarios and strategies. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 65, 2021.

BRUNDTLAND, Gro Harlem. **Our Common Future ('The Brundtland Report'):** **World Commission on Environment and Development**The Top 50 Sustainability Books. [s.l: s.n.].

CAMPBELL-LENDRUM, Diarmid; CORVALÁN, Carlos. Climate change and

developing-country cities: Implications for environmental health and equity. **Journal of Urban Health**, [s. l.], v. 84, n. SUPPL. 1, p. 109–117, 2007.

CAO, Guozhi et al. Environmental incidents in China: Lessons from 2006 to 2015. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 633, p. 1165–1172, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.271>>

CARTER, Craig R.; ROGERS, Dale S. **A framework of sustainable supply chain management: Moving toward new theory**. [s.l: s.n.]. v. 38

CAS. **Chinese Academy of Sciences**. 2016. Disponível em: <<https://english.cas.cn>>. Acesso em: 27 maio. 2019.

CASANELLES-ABELLA, Joan et al. Applying predictive models to study the ecological properties of urban ecosystems: A case study in Zürich, Switzerland. **Landscape and Urban Planning**, [s. l.], v. 214, n. May, p. 104137, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104137>>

CHANDA, Manas; ROY, Salil K. Plastics technology handbook. **Materials & Design**, [s. l.], v. 8, n. 6, p. 361, 2006.

CHANG, Yun Tsui; HSIEH, Shang Hsien. A review of building information modeling research for green building design through building performance analysis. **Journal of Information Technology in Construction**, [s. l.], v. 25, p. 1–40, 2020.

CHEN, Ying; OKUDAN, Gül E.; RILEY, David R. Sustainable performance criteria for construction method selection in concrete buildings. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 235–244, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2009.10.004>>

CHEN, Zhen; LI, Heng; HONG, Ju. An integrative methodology for environmental management in construction. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 13, n. 5 SPEC. ISS., p. 621–628, 2004.

CHEN, Zhen; LI, Heng; WONG, Conrad 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.

CHEN, Zhen; LI, Heng; WONG, Conrad T. C. EnvironaPlanning : Analytic Network Process Model for Environmentally Conscious Construction Planning. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], v. 131, n. 1, p. 92–101, 2005.

CHEUNG, Sai On et al. A web-based performance assessment system for environmental protection: WePass. **Construction Management and Economics**, [s. l.], v. 22, n. 9, p. 927–935, 2004.

CHRISTINI, Gwen; FETSKO, Michael; HENDRICKSON, Chris. Environmental Management Systems and ISO 14001 Certification for Construction Firms. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], v. 130, n. 3, p. 330–336, 2004.

CITHERLET, S.; DEFAUX, T. Energy and environmental comparison of three variants of a family house during its whole life span. **Building and Environment**, [s. l.], v. 42, n. 2, p. 591–598, 2007.

COMELLO, Stephen D.; LEPECH, Michael D.; SCHWEGLER, Benedict R. Project-Level Assessment of Environmental Impact: Ecosystem Services Approach to Sustainable Management and Development. **Journal of Management in Engineering**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 5–12, 2012.

CONAMA. Resolução CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Publicada no DOU, de 17 de fevereiro de 1986, Seção I. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. **Licenciamento Ambiental - Normas e Procedimentos**, 1986. p. 636–639. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>

CÔRTEZ, Rogério et al. Contribuições para a Sustentabilidade na Construção Civil. **Sistemas & Gestão**, [s. l.], v. 6, n. 3, p. 384–397, 2011.

DE PAULA, Nathália; MELHADO, Silvio. Sustainability in Management Processes: Case Studies in Architectural Design Firms. **Journal of Architectural Engineering**, [s. l.], v. 24, n. 4, p. 1–9, 2018.

DET UDOMSAP, Amornrut; HALLINGER, Philip. A bibliometric review of research on sustainable construction, 1994–2018. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 254, p. 120073, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120073>>

DING, Grace K. C. Sustainable construction--the role of environmental assessment tools. **Journal of environmental management**, [s. l.], v. 86, n. 3, p. 451–64, 2008. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17289255>>

DIONE, S.; RUWANPURA, J. Y.; HETTIARATCHI, J. P. Assessing and Managing the Potential Environmental Risks of Construction Projects. **Practice Periodical on Structural Design and Construction**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 260–266, 2005. Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%291084-0680%282005%2910%3A4%28260%29>>

DOANE, D. P.; SEWARD, L. E. **Applied Statistics in Business & Economics**. 3. ed. New York, USA. v. 66

DOBROVOLSKIENĖ, Nomeda; TAMOŠIŪNIENĖ, Rima. An index to measure sustainability of a business project in the construction industry: Lithuanian case. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 1–14, 2016.

DOMINGO, Darío; PALKA, Gaëtan; HERSPERGER, Anna M. Effect of zoning plans on urban land-use change: A multi-scenario simulation for supporting sustainable urban growth. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 69, n. February, 2021.

ECK, Nees Jan Van; WALTMAN, Ludo. VOSviewer Manual. **Universiteit Leiden**, [s. l.], n. August, p. 1–51, 2018.

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.

EMAS. EMAS - Sistema Comunitário de Ecogestão e Auditoria2001. p. 1–16.

EMAS. eco-management and audit scheme2009. Seção April, p. 1–33.

EOM, Creed S.; PAEK, Joon H. Risk Index Model for Minimizing Environmental Disputes in Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], v. 135, n. 1, p. 34–41, 2009.

EPA. Documentation for Greenhouse Gas Emission and Energy Factors Used in the Waste Reduction Model (WARM) - Containers, Packaging, and Non-Durable Good

Materials Chapters. . 2016, February.

FATTA, D. et al. Generation and management of construction and demolition waste in Greece - An existing challenge. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 40, n. 1, p. 81–91, 2003.

FEDOROVA, Anna et al. A testing methodology for quantification of wind-driven rain intrusion for building-integrated photovoltaic systems. **Building and Environment**, [s. l.], v. 199, n. February, 2021.

FEESE, Carley; LI, Yue; BULLEIT, William M. Assessment of Seismic Damage of Buildings and Related Environmental Impacts. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, [s. l.], v. 29, n. 4, p. 04014106, 2015.

FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, Gonzalo; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, Fernando. A methodology to identify sustainability indicators in construction project management - Application to infrastructure projects in Spain. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 10, n. 6, p. 1193–1201, 2010.

FIRMAWAN, Ferry et al. The green construction site index (GCSI): a quantitative tool used to assess an ongoing project to meet the green construction concept. **International Journal of Technology (2016)**, [s. l.], v. 4, n. 2086–9614, p. 530–543, 2016.

FORMOSO, Carlos T. et al. Material Waste in Building Industry: Main Causes and Prevention. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], v. 128, n. 4, p. 316–325, 2002.

FREDRIKSSON, Anna; NOLZ, Pamela C.; SERAGIOTTO, Clóvis. A mixed method evaluation of economic and environmental considerations in construction transport planning: The case of Ostlänken. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 69, n. November 2020, 2021.

FU, Yang; ZHANG, Xiaoling. Mega urban agglomeration in the transformation era: Evolving theories, research typologies and governance. **Cities**, [s. l.], v. 105, n. February, p. 102813, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.102813>>

FUERTES, Alba et al. An Environmental Impact Causal Model for improving the environmental performance of construction processes. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 52, p. 425–437, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.005>>

FULTON, Lawrence et al. Sustainable residential building considerations for rural areas: A case study. **Land**, [s. l.], v. 9, n. 5, 2020.

GANGOLELLS, Marta 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.

GANGOLELLS, Marta et al. Assessing concerns of interested parties when predicting the significance of environmental impacts related to the construction process of residential buildings. **Building and Environment**, [s. l.], v. 46, n. 5, p. 1023–1037, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.11.004>>

GANGOLELLS, Marta et al. Model for Enhancing Integrated Identification, Assessment, and Operational Control of On-Site Environmental Impacts and Health and Safety Risks in Construction Firms. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], v. 139, n. 2, p. 138–147, 2013.

GANGOLELLS, Marta et al. Analysis of the implementation of effective waste management practices in construction projects and sites. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 93, n. 2014, p. 99–111, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.10.006>>

GENG, Shengnan et al. Building life cycle assessment research: A review by bibliometric analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 76, n. October 2015, p. 176–184, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.068>>

GHAREHBAGHI, Koorosh et al. Complexities in mega rail transportation projects: “Sydney metro” and “Melbourne metro rail” insight. **Journal of Engineering, Design and Technology**, [s. l.], v. 18, p. 18, 2019.

GIAMA, E.; PAPADOPOULOS, A. M. Assessment tools for the environmental

evaluation of concrete, plaster and brick elements production. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 99, p. 75–85, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.006>>

GIESEKAM, Jannik et al. The greenhouse gas emissions and mitigation options for materials used in UK construction. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 78, p. 202–214, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.04.035>>

GOUGH, David. Qualitative and mixed methods in systematic reviews. **Systematic Reviews**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 181, 2015. Disponível em: <<http://systematicreviewsjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13643-015-0151-y>>

GUERIN, Turlough. Understanding Causes of Leaking Plant and Equipment on Construction Sites That Can Lead to Soil and Groundwater Contamination. **Remediation**, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 115–131, 2014.

GUERIN, Turlough F. Heavy equipment maintenance wastes and environmental management in the mining industry. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 66, n. 2, p. 185–199, 2002.

GUERIN, Turlough F. Understanding the Causes of Spills From the Supply and Handling of Chemicals at Resource Construction Sites: A Case Study. **Remediation**, [s. l.], v. 25, n. 3, p. 115–145, 2015.

GULTEKIN, Pelin et al. Process Indicators to Track Effectiveness of High-Performance Green Building Projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], v. 139, n. 12, p. A4013005, 2013.

HALL, John N. Briefing: A practical initiative for the construction industry. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Engineering Sustainability**, [s. l.], v. 163, n. 4, p. 181–183, 2010.

HALONEN, Jaana I. et al. A call for urgent action to safeguard our planet and our health in line with the helsinki declaration. **Environmental Research**, [s. l.], v. 193, 2021.

HARON, Zaiton; YAHYA, Khairulzan; JAHYA, Zanariah. 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.

HASSAN, Osama A. B. An integrated approach to assessing the sustainability of buildings. **Journal of Engineering, Design and Technology**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 1–13, 2016.

HATEFI, Seyed Morteza; TAMOŠAITIENE, Jolanta. Construction projects assessment based on the sustainable development criteria by an integrated fuzzy AHP and improved GRA model. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 1–14, 2018.

HOEKSTRA, Arjen Y. et al. **The Water Footprint Assessment Manual**. London, UK. v. 31

HOMAEI, Shabnam; HAMDY, Mohamed. Thermal resilient buildings: How to be quantified? A novel benchmarking framework and labelling metric. **Building and Environment**, [s. l.], v. 201, n. June, p. 108022, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108022>>

HONECK, Erica et al. Methods for identifying green infrastructure. **SN Applied Sciences**, [s. l.], v. 2, n. 11, p. 1–25, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s42452-020-03575-4>>

HONG, Juwon et al. An empirical analysis of environmental pollutants on building construction sites for determining the real-time monitoring indices. **Building and Environment**, [s. l.], v. 170, n. August 2019, p. 106636, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106636>>

HONG, Sim Hee; LEE, Seul Ki; YU, Jung Ho. Automated management of green building material information using web crawling and ontology. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 102, n. January, p. 230–244, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.015>>

HOPFE, Christina J.; MCLEOD, Robert S. Enhancing resilient community decision-making using building performance simulation. **Building and Environment**, [s. l.], v.

188, p. 107398, 2021. Disponível em:
<<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107398>>

HOSSEINI, M. Reza et al. Sustainability by Information and Communication Technology: A paradigm shift for construction projects in Iran. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 168, p. 1–13, 2017.

HOXHA, Visar; HAUGEN, Tore; BJORBERG, Svein. Measuring perception about sustainability of building materials in Kosovo. **Facilities**, [s. l.], v. 35, n. 7–8, p. 436–461, 2017.

HUANG, Beijia et al. Contribution and obstacle analysis of applying BIM in promoting green buildings. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 278, p. 123946, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123946>>

ISO/TR 14032. Environmental management - Examples of environmental performance evaluation (EPE)1999. p. 11.

ISO/TS 21929-2. Sustainability in building construction — Sustainability indicators - Part 2: Framework for the development of indicators for civil engineering worksGeneva, Switzerland, 2015. p. 11.

ISO 14001. Environmental Management Systems - Requirements with Guidance for UseGeneva, Switzerland, 2004. p. 34.

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

ISO 14010. DIRETRIZES PARA AUDITORIA AMBIENTAL - PRINCIPIOS GERAIS2004. Seção 1, p. 1–46. Disponível em:
<<https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.127013>>

ISO 14015. Environmental management - Environmental assessment of sites and organizations (EASO)Geneva, Switzerland, 2003. p. 18.

ISO 14021. Environmental labels and declarations - Self-declared environmental claims (Type II environmental labelling)Geneva, Switzerland, 2016. p. 13.

ISO 14031. Environmental management - Environmental performance evaluation - Guidelines Geneva, Switzerland, 2004. p. 38.

ISO 14040. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework Geneva, Switzerland, 2001. p. 1–22.

ISO 14041. Environmental management — Life cycle assessment — Goal and scope definition and inventory analysis Geneva, Switzerland, 1998.

ISO 14042. Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment Geneva, Switzerland, 2000. p. 2–7.

ISO 14043. Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle interpretation Geneva, Switzerland, 2000. p. 2–7.

ISO 15392. Sustainability in building construction — General principles Geneva, Switzerland, 2008. p. 20.

ISO 21929-1. Sustainability in building construction — Sustainability indicators — Geneva, Switzerland, 2011.

ISO 21930. Sustainability in building construction - Environmental declaration of building products Geneva, Switzerland, 2007. p. 13.

ISO 21931-1. Sustainability in building construction - Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works - Part 1: Buildings Geneva, Switzerland, 2010. p. 13.

JABAR, Izatul Iaili; ISMAIL, Faridah; MUSTAFA, Arniatul Aiza. Issues in Managing Construction Phase of IBS Projects. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, [s. l.], v. 101, p. 81–89, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.07.181>>

JALAEI, Farzad; JALAEI, Farnaz; MOHAMMADI, Sepehr. An integrated BIM-LEED application to automate sustainable design assessment framework at the conceptual stage of building projects. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 53, n. May 2019, p. 101979, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101979>>

JANG, Woosik; LEE, Sang Ku; HAN, Seung Heon. Sustainable Performance Index for Assessing the Green Technologies in Urban Infrastructure Projects. **Journal of Management in Engineering**, [s. l.], v. 34, n. 2, p. 04017056, 2018.

JANSEN, Sabine; MOHAMMADI, Saleh; BOKEL, Regina. Developing a locally balanced energy system for an existing neighbourhood, using the 'Smart Urban Isle' approach. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 64, n. September 2020, p. 102496, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102496>>

JBE. **Journal Building Engineering**. 2019. Disponível em: <<https://www.journal.elsevier.com/journal-of-building-engineering>>. Acesso em: 27 maio. 2019.

JCP. **Journal of Cleaner Production**. 2019. Disponível em: <<https://www.journals.elsevier.com/journal-of-cleaner-production>>. Acesso em: 27 maio. 2019.

JOHNSTON, Andy; HUTCHISON, Jim; SMITH, Ann. Significant environmental impact evaluation: a proposed methodology. **Eco-Management and Auditing**, [s. l.], v. 7, n. 4, p. 186–195, 2000.

JOST, Elisabeth et al. Dynamic soil functions assessment employing land use and climate scenarios at regional scale. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 287, n. March, 2021.

JUNG, Seunghoon 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>>

JUNG, Seunghoon et al. Quantitative health impact assessment of construction noise exposure on the nearby region for noise barrier optimization. **Building and Environment**, [s. l.], v. 176, n. February, p. 106869, 2020. a. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106869>>

JUNG, Seunghoon et al. An optimal scheduling model of an energy storage system with a photovoltaic system in residential buildings considering the economic and

environmental aspects. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 209, 2020. b.

KABIR, Zobaidul; MORGAN, Richard K. Strategic environmental assessment of urban plans in New Zealand: current practice and future directions. **Journal of Environmental Planning and Management**, [s. l.], v. 0, n. 0, p. 1–24, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/09640568.2020.1796605>>

KAMINSKI, Isabella. **Road from Rio The past, the present and the future of ISO 14001 Environmental Data Services (ENDS)**. London, UK.

KENNEDY, Chris; ZHONG, Ma; CORFEE-MORLOT, Jan. Infrastructure for China's Ecologically Balanced Civilization. **Engineering**, [s. l.], v. 2, n. 4, p. 414–425, 2016.

KIM, Jee Hye et al. Development of the construction waste management performance evaluation tool (WMPET). In: 2006 PROCEEDINGS OF THE 23RD INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ROBOTICS AND AUTOMATION IN CONSTRUCTION, ISARC 2006 2006, **Anais...** [s.l: s.n.]

KIM, Young Ai et al. Major Accident Factors for Effective Safety Management of Highway Construction Projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], v. 139, n. 6, p. 628–640, 2013.

KOLAVENTI, S. S. et al. Construction waste in India: A structural equation model for identification of causes. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Engineering Sustainability**, [s. l.], v. 173, n. 6, p. 303–314, 2020.

KOURTIT, Karima; NIJKAMP, Peter; PARTRIDGE, Mark D. The New Urban World. **European Planning Studies**, [s. l.], v. 21, n. 3, p. 285–290, 2013.

KRAJANGSRI, Thanachon; PONGPENG, Jakrapong. 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.

LEE, Heow Pueh; WANG, Zhaomeng; LIM, Kian Meng. Assessment of noise from equipment and processes at construction sites. **Building Acoustics**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 21–34, 2017.

LEHTOLA, Marika M. et al. The Effectiveness of Interventions for Preventing Injuries in the Construction Industry. A Systematic Review. **American Journal of Preventive Medicine**, [s. l.], v. 35, n. 1, p. 77–85, 2008.

LI, Feng et al. Measurement indicators and an evaluation approach for assessing urban sustainable development: A case study for China's Jining City. **Landscape and Urban Planning**, [s. l.], v. 90, n. 3–4, p. 134–142, 2009.

LI, Weifeng et al. The smart growth of Chinese cities: Opportunities offered by vacant land. **Land Degradation and Development**, [s. l.], v. 29, n. 10, p. 3512–3520, 2018.

LI, Xiaodong; ZHU, Yimin; ZHANG, Zhihui. An LCA-based environmental impact assessment model for construction processes. **Building and Environment**, [s. l.], v. 45, n. 3, p. 766–775, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.010>>

LI, Yashuai 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>>

LIN, Han et al. An indicator system for evaluating megaproject social responsibility. **International Journal of Project Management**, [s. l.], v. 35, n. 7, p. 1415–1426, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.04.009>>

LIN, Tao et al. A quantitative method to assess the ecological indicator system's effectiveness: A case study of the Ecological Province Construction Indicators of China. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 62, p. 95–100, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.11.027>>

LLATAS, C. A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list. **Waste Management**, [s. l.], v. 31, n. 6, p. 1261–1276, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2011.01.023>>

LONSDORF, Eric V. et al. Assessing urban ecosystem services provided by green infrastructure: Golf courses in the Minneapolis-St. Paul metro area. **Landscape and Urban Planning**, [s. l.], v. 208, n. December 2020, p. 104022, 2021. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.104022>>

LOPES, José Antonio Urroz; QUEIROZ, Sandra Mara Pereira De; REIS, Luis Filipe Sanches de Sousa Dias. **GESTÃO AMBIENTAL DE EMPREENDIMENTOS**. 1ª ed. Rio de Janeiro.

LÜTZKENDORF, Thomas; LORENZ, David. Sustainable property investment: Valuing sustainable buildings through property performance assessment. **Building Research and Information**, [s. l.], v. 33, n. 3, p. 212–234, 2005.

MARINHO, Maerbal; GONÇALVES, Maria Do Socorro; KIPERSTOK, Asher. Water conservation as a tool to support sustainable practices in a Brazilian public university. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 62, p. 98–106, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.053>>

MARRERO, Madelyn. Demolition Waste Management in Spanish Legislation. **The Open Construction and Building Technology Journal**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 162–173, 2011.

MCCORMACK, Michael et al. Modelling direct and indirect water requirements of construction. **Building Research and Information**, [s. l.], v. 35, n. 2, p. 156–162, 2007.

MCPHERSON, David L. Choice of pipeline material: PVC or di using a life cycle cost analysis. **Pipelines 2009: Infrastructure's Hidden Assets - Proceedings of the Pipelines 2009 Conference**, [s. l.], v. 360, n. 216, p. 1342–1354, 2009.

MEDINECKIENE, Milena; TURSKIS, Zenonas; ZAVADSKAS, Edmundas Kazimieras. Sustainable construction taking into account the building impact on the environment. **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management**, [s. l.], v. 18, n. 2, p. 118–127, 2010.

MEDINECKIENĖ, Milena; TURSKIS, Zenonas; ZAVADSKAS, Edmundas Kazimieras. Sustainable Construction Taking Into Account the Building Impact on the Environment. **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management**, [s. l.], v. 18, n. 2, p. 118–127, 2010.

MENEZES, José Roberto Rezende De et al. Contribuição para a identificação de aspectos ambientais e impactos significativos na gestão da construção de edificações urbanas. In: CONTRIBUIÇÃO PARA A IDENTIFICAÇÃO DE ASPECTOS AMBIENTAIS E IMPACTOS SIGNIFICATIVOS NA GESTÃO DA CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES URBANAS 2006, Bauru, SP. **Anais...** Bauru, SP: XIII SIMPEP - Simpósio de Engenharia de Produção, 2006. Disponível em: <https://simpep.feb.unesp.br/anais_simpep_aux.php?e=13>

MERSIOWSKY, Ivo. Mersiowsky 2002- Long-term fate PVC in landfills.pdf. **Progress in Polymer Science**, [s. l.], v. 27, p. 2227–2277, 2002.

MIN, Jang Hee et al. How Conflict Occurs and What Causes Conflict: Conflict Analysis Framework for Public Infrastructure Projects. **Journal of Management in Engineering**, [s. l.], v. 34, n. 4, p. 04018019, 2018.

MOHER, David et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA Statement. **International Journal of Surgery**, [s. l.], v. 8, p. 336–341, 2010. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21603045>><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC3090117>>

MULESKI, Gregory E.; KINSEY, John S.; COWHERD, Chatten. Particulate emissions from construction activities. **Journal of the Air and Waste Management Association**, [s. l.], v. 55, n. 6, p. 772–783, 2005.

MURPHY, Martina Elizabeth; NAHOD, Maja Marija. Stakeholder competency in evaluating the environmental impacts of infrastructure projects using BIM. **Engineering, Construction and Architectural Management**, [s. l.], v. 24, n. 5, p. 718–735, 2017.

MUTHUKANNAN, Muthiah; SANKAR, Aruna; GANESH, Chithambar. THE ENVIRONMENTAL IMPACT CAUSED BY THE CERAMIC INDUSTRIES AND ASSESSMENT METHODOLOGIES. **International Journal for Quality Research**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 315–334, 2018.

NAHUELHUAL, Laura et al. Land-cover change to forest plantations: Proximate causes and implications for the landscape in south-central Chile. **Landscape and**

Urban Planning, [s. l.], v. 107, n. 1, p. 12–20, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.04.006>>

NAMINI, Saeed Banihashemi et al. Managerial sustainability assessment tool for Iran's buildings. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Engineering Sustainability**, [s. l.], v. 167, n. 1, p. 12–23, 2014.

NEPPACH, Simone; NUNES, Katia R. A.; SCHEBEK, Liselotte. Organizational Environmental Footprint in German construction companies. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 142, p. 78–86, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.065>>

NEWMAN, Peter. The environmental impact of cities. **Environment and Urbanization**, [s. l.], v. 18, n. 2, p. 275–295, 2006.

OLAZABAL, Marta; RUIZ DE GOPEGUI, Maria. Adaptation planning in large cities is unlikely to be effective. **Landscape and Urban Planning**, [s. l.], v. 206, n. June 2020, p. 103974, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103974>>

OLIVER-SOLÀ, Jordi; GABARRELL, Xavier; RIERADEVALL, Joan. Environmental impacts of the infrastructure for district heating in urban neighbourhoods. **Energy Policy**, [s. l.], v. 37, n. 11, p. 4711–4719, 2009.

ORTIZ, Oscar et al. Sustainability based on LCM of residential dwellings: A case study in Catalonia, Spain. **Building and Environment**, [s. l.], v. 44, n. 3, p. 584–594, 2009.

ORTIZ, Oscar; CASTELLS, Francesc; SONNEMANN, Guido. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. **Construction and Building Materials**, [s. l.], v. 23, n. 1, p. 28–39, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.11.012>>

OSMANI, M.; GLASS, J.; PRICE, A. D. F. Architects' perspectives on construction waste reduction by design. **Waste Management**, [s. l.], v. 28, n. 7, p. 1147–1158, 2008.

OZCAN-DENIZ, Gulbin; ZHU, Yimin. A system dynamics model for construction method selection with sustainability considerations. **Journal of Cleaner Production**,

[s. l.], v. 121, p. 33–44, 2016.

PAULEIT, Stephan; ENNOS, Roland; GOLDING, Yvonne. Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change—a study in Merseyside, UK. **Landscape and Urban Planning**, [s. l.], v. 71, n. 2–4, p. 295–310, 2005.

PAULSEN, Jacob Silva; SPOSTO, Rosa Maria. 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>>

PERDICOÚLIS, Anastássios; PIPER, Jake. Network and system diagrams revisited: Satisfying CEA requirements for causality analysis. **Environmental Impact Assessment Review**, [s. l.], v. 28, n. 7, p. 455–468, 2008.

PETROVIC-LAZAREVIC, Sonja. Good corporate citizenship in the Australian construction industry. **Corporate Governance: The international journal of business in society**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 115–128, 2010.

PICCOLI, Rossana et al. A certificação de desempenho ambiental de prédios: exigências usuais e novas atividades na gestão da construção. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 69–79, 2010.

PLUYE, Pierre; NHA HONG, Quan. Combining the Power of Stories and the Power of Numbers: Mixed Methods Research and Mixed Studies Reviews. **Annu. Rev. Health**, [s. l.], v. 35, p. 29–45, 2013.

PRADEL, Marilyns; GARCIA, Julien; VAIJA, Mikko Samuli. A framework for good practices to assess abiotic mineral resource depletion in Life Cycle Assessment. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 279, p. 123296, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123296>>

QU, Yi; LONG, Hualou. The economic and environmental effects of land use transitions under rapid urbanization and the implications for land use management. **Habitat International**, [s. l.], v. 82, n. April, p. 113–121, 2018.

RCR. **Resources, Conservation and Recycling**. 2019. Disponível em:

<<https://www.journals.elsevier.com/resources-conservation-and-recycling>>. Acesso em: 27 maio. 2019.

RUIZ, M. C.; FERNÁNDEZ, I. Environmental assessment in construction using a Spatial Decision Support System. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 18, n. 8, p. 1135–1143, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2009.07.005>>

RUMANE, Abdul Razzak. **Quality Management in CONSTRUCTION PROJECTS**. Second ed. Boca Raton: Taylor & Francis, CRC Press, 2017. Disponível em: <<https://lccn.loc.gov/2017019041>>

S-OAJ. **Sustainability - Open Access Journal**. 2019. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/journal/sustainability>>. Acesso em: 27 maio. 2019.

SALZER, Corinna et al. Sustainability of social housing in Asia: A holistic multi-perspective development process for bamboo-based construction in the Philippines. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 8, n. 151, p. 1–26, 2016.

SANDANAYAKE, Malindu; ZHANG, Guomin; SETUNGE, Sujeeva. Estimation of environmental emissions and impacts of building construction – A decision making tool for contractors. **Journal of Building Engineering**, [s. l.], v. 21, n. October 2018, p. 173–185, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.10.023>>

SANTOS, Rúben et al. Development of a BIM-based Environmental and Economic Life Cycle Assessment tool. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 265, 2020.

SARTORI, I.; HESTNES, A. G. Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 39, n. 3, p. 249–257, 2007.

SHAHTAHERI, Yasaman; FLINT, Madeleine M.; DE LA GARZA, Jesús M. Sustainable Infrastructure Multi-Criteria Preference Assessment of Alternatives for Early Design. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 96, n. March, p. 16–28, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.08.022>>

SHAN, Shan et al. Role of green technology innovation and renewable energy in carbon neutrality: A sustainable investigation from Turkey. **Journal of Environmental**

Management, [s. l.], v. 294, n. June, p. 113004, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113004>>

SHEN, Li yin et al. Project feasibility study: the key to successful implementation of sustainable and socially responsible construction management practice. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 254–259, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.10.014>>

SHEN, Li Yin et al. A computer-based scoring method for measuring the environmental performance of construction activities. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 14, n. 3, p. 297–309, 2005.

SILVA, Maisa Mendonça et al. Urban planning in Recife, Brazil: Evidence from a conflict analysis on the New Recife Project. **Journal of Urban Planning and Development**, [s. l.], v. 143, n. 3, p. 11, 2017.

SOLÍS-GUZMÁN, Jaime et al. A Spanish model for quantification and management of construction waste. **Waste Management**, [s. l.], v. 29, n. 9, p. 2542–2548, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2009.05.009>>

SOUZA, Jackeline Lucas; FILHO, Francisco de Assis de Souza; NETO, José de Paula Barros. 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.

SZYMAŃSKA-BRAŁKOWSKA, Małgorzata. Environmental Management in Germany. **Equilibrium**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 153–164, 2010.

TAM, C. M.; TAM, Vivian W. Y.; TSUI, W. S. Green construction assessment for environmental management in the construction industry of Hong Kong. **International Journal of Project Management**, [s. l.], v. 22, n. 7, p. 563–571, 2004.

TAM, Vivian W. Y. et al. Environmental performance measurement indicators in construction. **Building and Environment**, [s. l.], v. 41, n. 2, p. 164–173, 2006.

TEH, Soo Huey; WIEDMANN, Thomas; MOORE, Stephen. Mixed-unit hybrid life cycle assessment applied to the recycling of construction materials. **Journal of Economic**

Structures, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 1–25, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1186/s40008-018-0112-4>>

TEODORO, Maria Inês Tavares de Matos. **Energia Embutida Na Construção De Edificações No Brasil : Contribuições Para O Desenvolvimento De Políticas Públicas a Partir De Um Estudo De Caso Em Mato Grosso Do Sul**. 2017. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, [s. l.], 2017.

TEPANOSYAN, Garegin et al. Studying spatial-temporal changes and relationship of land cover and surface Urban Heat Island derived through remote sensing in Yerevan, Armenia. **Building and Environment**, [s. l.], v. 187, n. June 2020, p. 107390, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107390>>

THKPU. **The Hong Kong Polytechnic University**. 2019. Disponível em: <<https://polyu.edu.hk/web/en/home/index.html>>. Acesso em: 27 maio. 2019.

THOMAS, Shiu Tong 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.

THOMÉ, Antônio Márcio Tavares et al. Sustainable infrastructure: A review and a research agenda. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 184, p. 143–156, 2016.

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.

TRELOAR, Graham J.; LOVE, Peter E. D.; HOLT, Gary D. Using national input/output data for embodied energy analysis of individual residential buildings. **Construction Management and Economics**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 49–61, 2001.

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

USEPA. Emission Factor Documentation for AP-42, Unpaved Roads. . 1998, 4864.

VALLE, A. B. et al. **Fundamentos do gerenciamento de projetos**. 2ª Edição ed. Rio de Janeiro.

VAN ELDIJK, Job et al. Missing links – Quantifying barrier effects of transport infrastructure on local accessibility. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, [s. l.], v. 85, n. October 2019, p. 102410, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102410>>

VANEK, Francis M. The sector-stream matrix: Introducing a new framework for the analysis of environmental performance. **Sustainable Development**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 12–24, 2002.

VGTU. **Vilnius Gediminas Technical University**. 2019. Disponível em: <<https://www.vgtu.lt/index.php?lang=2>>. Acesso em: 27 maio. 2019.

VILLORIA SÁEZ, Paola; DEL RÍO MERINO, Mercedes; PORRAS-AMORES, César. Estimation of construction and demolition waste volume generation in new residential buildings in Spain. **Waste Management and Research**, [s. l.], v. 30, n. 2, p. 137–146, 2012.

VOORDECKERS, D. et al. Guidelines for passive control of traffic-related air pollution in street canyons: An overview for urban planning. **Landscape and Urban Planning**, [s. l.], v. 207, n. October 2020, p. 103980, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103980>>

WADDINGTON, D. C. et al. Acoustic emissions from construction equipment. **Building Acoustics**, [s. l.], v. 7, n. 3, p. 201–215, 2000.

WAIDYASEKARA, K. G. A. S.; DE SILVA, Lalith; RAMEEZDEEN, Raufdeen. Water use efficiency and conservation during construction: drivers, barriers and practices. **Built Environment Project and Asset Management**, [s. l.], v. 6, n. 5, p. 553–566, 2016.

WAIDYASEKARA, K. G. A. S.; DE SILVA, Lalith; RAMEEZDEEN, Raufdeen. Application of “R” principles to enhance the efficiency of water usage in construction sites. **Built Environment Project and Asset Management**, [s. l.], v. 7, n. 4, p. 400–412, 2017.

WALLBAUM, Holger; KRANK, Sabrina; TELOH, Rolf. Prioritizing Sustainability Criteria in Urban Planning Processes: Methodology Application. **Journal of Urban Planning and Development**, [s. l.], v. 137, n. 1, p. 20–28, 2011.

WAYLEN, Carmen. **WATER: The 2009 progress report on reducing water usage on construction sites**. London, UK.

WELLS, C. BS7750 Environmental systems management. **Proc. Instn Civ. Engrs Mun. Engr**, [s. l.], v. 98, n. June, p. 119–123, 1993.

WHITELAW, Ken. **ISO 14001 Environmental Systems Hanbook**. Second ed. [s.l: s.n.].

WOODWARD, John. Civil engineering management. **International Journal of Project Management**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 105–108, 1985.

WU, Quan et al. The way forward confronting eco-environmental challenges during land-use practices: a bibliometric analysis. **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], v. 25, n. 28, p. 28296–28311, 2018.

YAHYA, Khairulzan; HALIM BOUSSABAIN, A. Eco-costing of construction waste. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 6–19, 2006.

YIM, Stephen 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.

YU, Wen Der et al. Measuring the sustainability of construction projects throughout their lifecycle: A Taiwan Lesson. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 10, n. 5, p. 1–16, 2018.

ZHANG, Jingxiao et al. Understanding the impact of environmental regulations on green technology innovation efficiency in the construction industry. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 65, n. June 2020, 2021.

ZHANG, Xiaoling et al. A prototype system dynamic model for assessing the sustainability of construction projects. **International Journal of Project Management**, [s. l.], v. 32, n. 1, p. 66–76, 2014. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.01.009>>

ZHONG, Yun; WU, Peng. Economic sustainability, environmental sustainability and constructability indicators related to concrete- and steel-projects. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 108, p. 748–756, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.095>>

ZOBEL, T.; BURMAN, J. O. Factors of importance in identification and assessment of environmental aspects in an EMS context: Experiences in Swedish organizations. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 13–27, 2004.

APÊNDICE A – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS DO CRITÉRIO SEVERIDADE

1. PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO – PTS

i) TAXA DE EMISSÃO DE PTS CONSUMINDO COMBUSTÍVEL

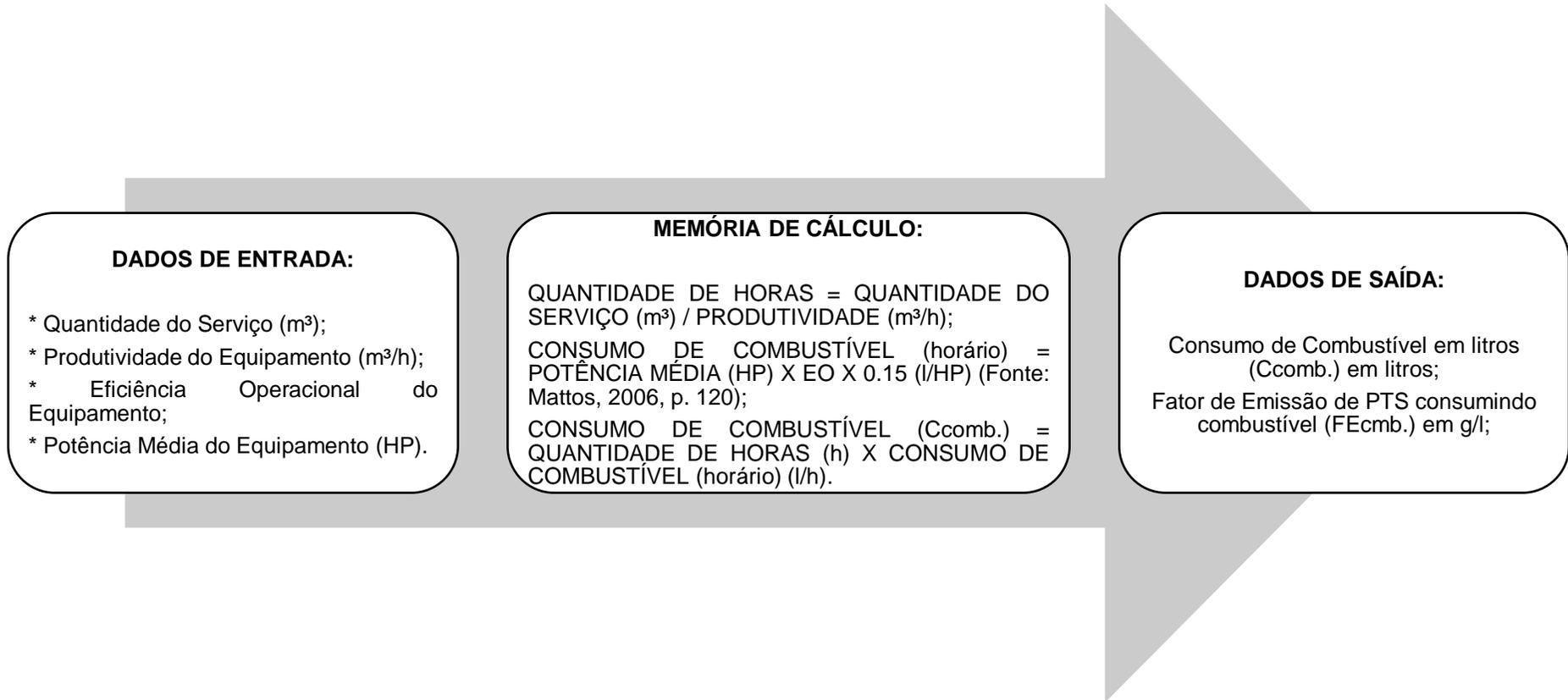


Figura A1.1 – Fluxograma da Taxa de Emissão de PTS Consumindo Combustível.

Quadro A1.1 – Dados Gerais (Produtividade – Eficiência Operacional – Potência e Fator de Emissão de PTS).

EQUIPAMENTOS	PRODUTIVIDADE REAL (m³/h)	EFICIÊNCIA OPERACIONAL (%)	POTÊNCIA MÉDIA (HP)	FEcomb. em g/l (Fonte: Jung et al., 2019)
Escavadeira	53,78	83	139	3,61 g/l
Carregadeira	153,60	80	160	3,51 g/l
Caminhão Basculante	29,25	75	217	2,12 g/l
Rolo Compactador	140,00	75	118	1,77 g/l
Moto niveladora	346,00	75	171	1,77 g/l
Caminhão Tanque	154,11	75	186	2,12 g/l

ii) TAXA DE EMISSÃO DE PTS VIAJANDO EM ESTRADA NÃO PAVIMENTADA

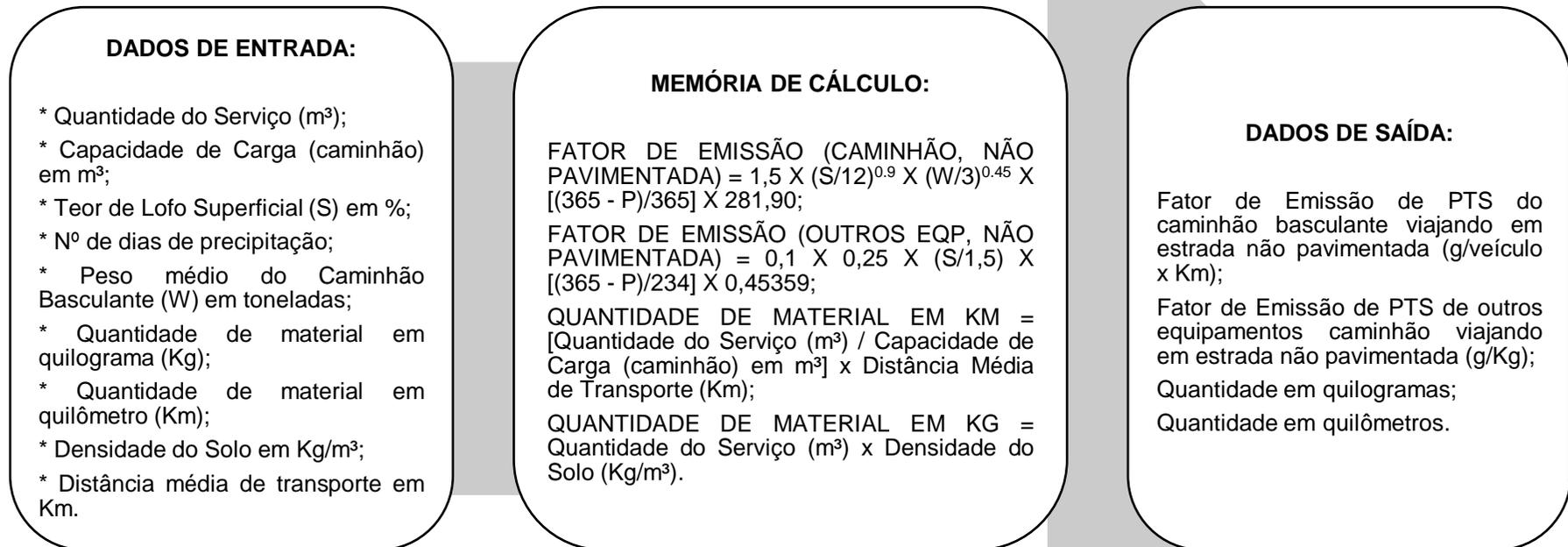


Figura A1.2 – Fluxograma da Taxa de Emissão de PTS Viajando em Estrada não Pavimentada.

Quadro A1.2 – Dados Gerais dos Projetos (Precipitação, Teor de Lodo, Peso do Caminhão, DMT, Densidade e Capacidade de Carga).

DESCRIÇÃO	UNIDADE DE MEDIDA	PROJETO A	PROJETO B	PROJETO C
Nº de dias de precipitação (site: pt.weathespersk.com)	Dias	201	351	149
Teor de Lodo Superficial (S) - Adotado	%	13,5	13,5	13,5
Peso médio do Caminhão Basculante	Toneladas	30,00	30,00	30,00
Distância Média de Transporte (DMT)	Km	6,698	5,378	4,976
Densidade do Solo	Kg/m ³	1.800,00	1.800,00	1.800,00
Capacidade de Carga (Caminhão)	m ³	4,8	4,8	4,8

iii) TAXA DE EMISSÃO DE PTS PARA CARGA E DESCARGA DO SOLO

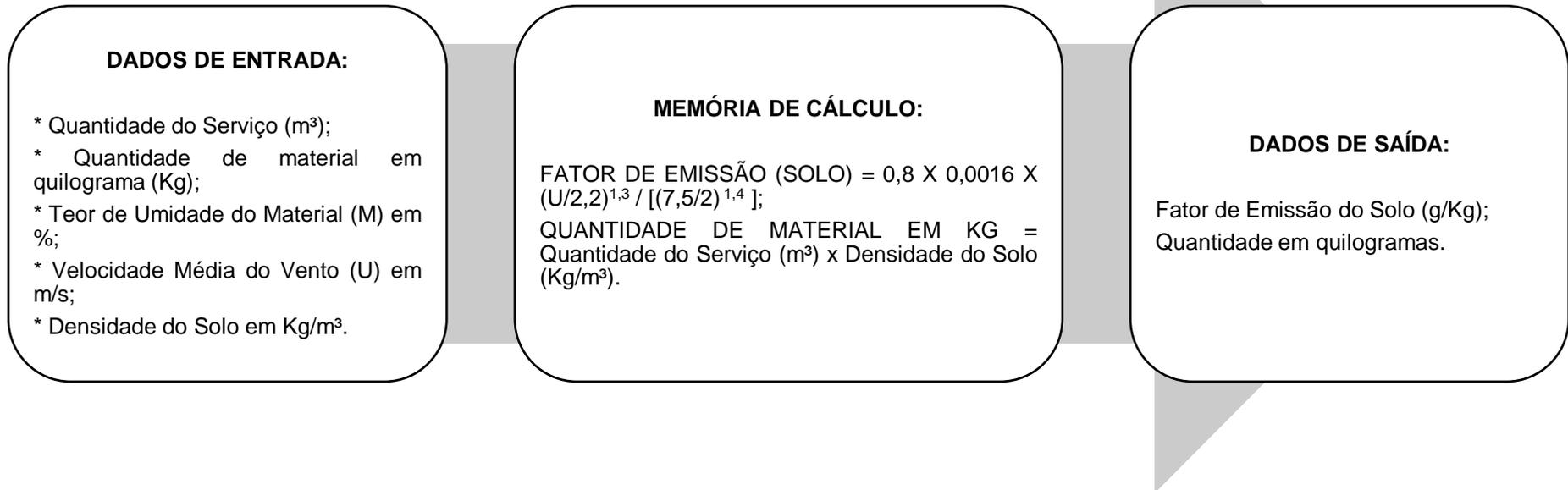


Figura A1.3 – Fluxograma da Taxa de Emissão de PTS para Carga e Descarga do Solo.

Quadro A1.3 – Dados Gerais dos Projetos (Quantidade, Teor de umidade, Velocidade do Vento e Densidade)

DESCRIÇÃO	UNIDADE DE MEDIDA	PROJETO A	PROJETO B	PROJETO C
Quantidade do Serviço	m ³	Depende do projeto e do serviço	Depende do projeto e do serviço	Depende do projeto e do serviço
Quantidade de material em quilograma	Kg	Depende do projeto e do serviço	Depende do projeto e do serviço	Depende do projeto e do serviço
Teor de Umidade do Material (Adotado)	%	750	750	750
Velocidade Média do Vento (U)	m/s	3,61	4,86	4,11
Densidade do Solo	Kg/m ³	1.800,00	1.800,00	1.800,00

2. EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA – GEE

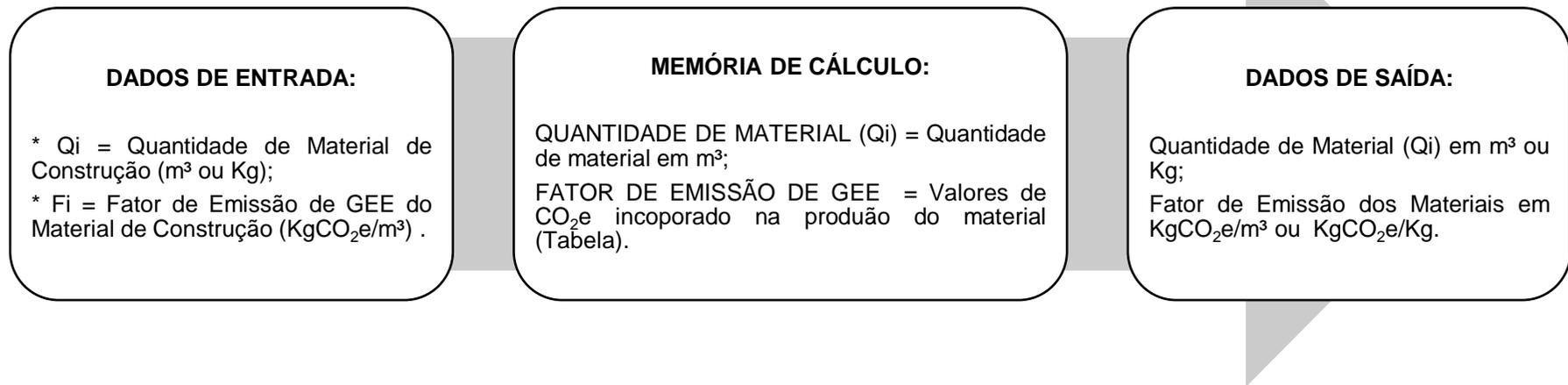


Figura A1.4 – Fluxograma da Emissão de Gases do Efeito Estufa (material).

Quadro A1.4 – Fatores de Emissões de GEE dos Materiais.

DESCRIÇÃO	UNIDADE DE MEDIDA	VALORES	FONTE
CONCRETO	KgCO ₂ e/m ³	426	Yim et al. (2018)
CONCRETO	KgCO ₂ e/Kg	0,177	Yim et al. (2018)
PVC	KgCO ₂ e/Kg	1,85	Epa (2016)
PARALELEPÍPEDO	KgCO ₂ e/Kg	0,005	Alan et al. (2017)
AREIA	KgCO ₂ e/Kg	0,005	Alan et al. (2017)

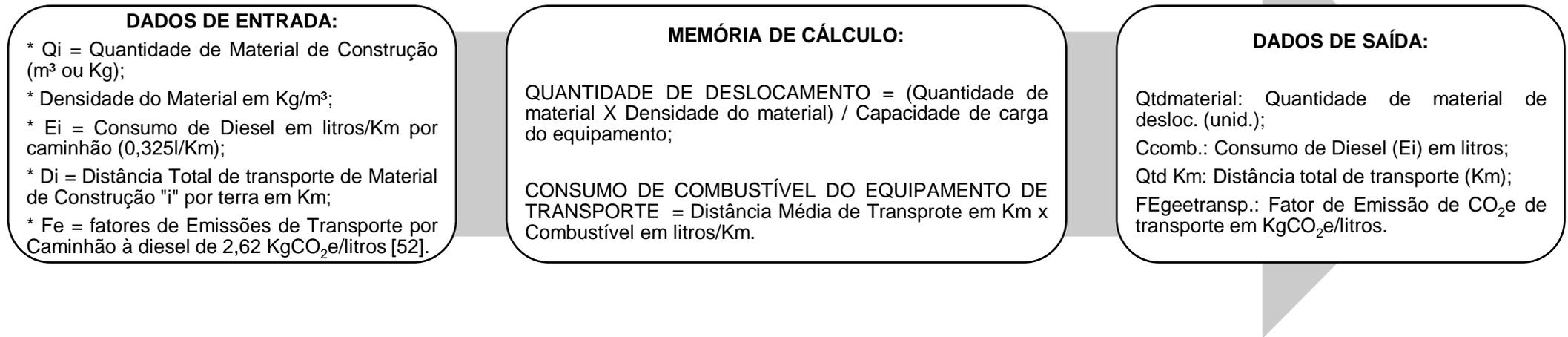


Figura A1.5 – Fluxograma da Emissão de Gases do Efeito Estufa (transporte).

Quadro A1.5 – Dados do Projeto e Fatores de emissões de gee do transporte.

DESCRIÇÃO	UNIDADE DE MEDIDA	FONTE	PROJETO A	PROJETO B	PROJETO C
Distância Média de Transporte	Km	Projeto	6,698	5,378	4,976
Distância Média de Transporte (bota-fora)	Km	Adotado	1,8	1,8	1,8
Densidade da Areia	Kg/m ³	Yim et al. (2016)	1.800,00	1.800,00	1.800,00
Densidade do Concreto	Kg/m ³	Yim et al. (2016)	2.400,00	2.400,00	2.400,00
Densidade do Paralelepípedo	Kg/m ³	Projeto	3.086,42	3.086,42	3.086,42
Capacidade de Carga (caminhão)	Kg e m ³	Manual Eqp	6.000,00 e 5	6.000,00 e 5	6.000,00 e 5
Fe	KgCO ₂ e/litros	[52]	2,62	2,62	2,62
Consumo de Combustível (Ccomb.)	litros/Km	Yim et al. (2018)	0,325	0,325	0,325

3. POLUIÇÃO SONORA – PS

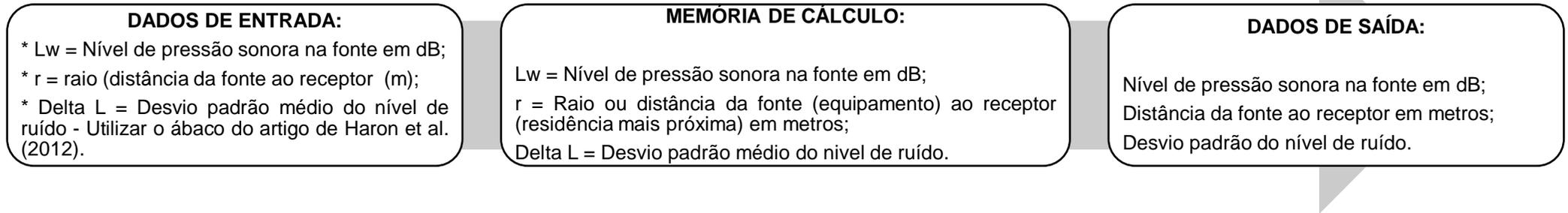


Figura A1.6 – Fluxograma da Poluição Sonora.

Quadro A1.6 – Dados do Projeto e Desvio Padrão do Ábaco de Haron et al. 2012.

DESCRIÇÃO	UNIDADE	FONTE	PROJETO A	PROJETO B	PROJETO C
Raio – Subárea A	m	Projeto	50,07	71,32	24,96
Raio – Subárea B	m	Projeto	90,17	154,56	76,80
Desvio padrão – Subárea A	-----	Haron et al. (2012)	0,05	0,05	0,05
Desvio padrão – Subárea B	-----	Haron et al. (2012)	0,00	0,01	0,01

Quadro A1.7 – Nível de Pressão Sonora dos Equipamentos.

EQUIPAMENTO	UNIDADE DE MEDIDA	FONTE	VALORES
Escavadeira	dB	Haron et al. (2012)	103
Carregadeira	dB	Manual Caterpillar	111
Caminhão Basculante	dB	Haron et al. (2012)	93
Rolo Compactador	dB	Manual Caterpillar	107
Moto niveladora	dB	Manual Caterpillar	111
Caminhão Tanque	dB	Haron et al. (2012)	93
Caminhão c/ Guindaste	dB	Haron et al. (2012)	93

4. ALTERAÇÃO DO SOLO – AS

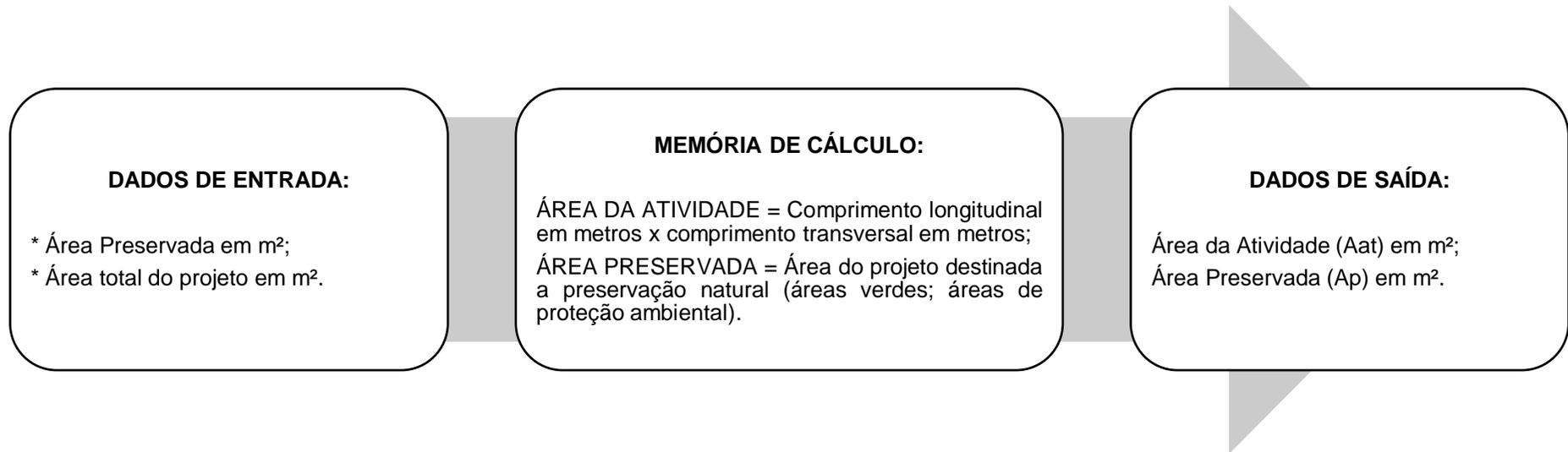


Figura A1.7 – Fluxograma da Alteração do Solo.

Quadro A1.8 – Dados do Projeto A.

DESCRIÇÃO	FONTE	PROJETO A		
		LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	ÁREA (m ²)
Área – Terraplenagem	Projeto	-----	-----	53.818,02
Área – Sistema de Drenagem	Projeto	0,96	6.698,08	6.430,08
Área – Sistema de Abastecimento	Projeto	0,40	6.698,08	2.679,20
Área – Sistema de Energia	Projeto	-----	-----	0,43 x 222 unid. = 95,46
Área - Pavimentação	Projeto	-----	-----	53.243,18
Área – Meio fio	Projeto	0,30	13.590,00	4.077,00
Área Preservada	Projeto	-----	-----	71.945,34

Quadro A1.9 – Dados do Projeto B.

DESCRIÇÃO	FONTE	PROJETO B		
		LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	ÁREA (m ²)
Área – Terraplenagem	Projeto	-----	-----	52.924,37
Área – Sistema de Drenagem	Projeto	0,96	967,61	928,91
Área – Sistema de Abastecimento	Projeto	0,40	5.378,00	2.151,20
Área – Sistema de Energia	Projeto	-----	-----	0,43 x 155 unid. = 66,65
Área - Pavimentação	Projeto	-----	-----	31.878,00
Área – Meio fio	Projeto	0,30	9.278,00	2.783,40
Área Preservada	Projeto	-----	-----	24.794,46

Quadro A1.10 – Dados do Projeto C.

DESCRIÇÃO	FONTE	PROJETO C		
		LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	ÁREA (m ²)
Área – Terraplenagem	Projeto	-----	-----	53.201,27
Área – Sistema de Drenagem	Projeto	0,96	1.575,53	1.512,51
Área – Sistema de Abastecimento	Projeto	0,40	4.976,00	1.990,40
Área – Sistema de Energia	Projeto	-----	-----	0,43 x 130 unid. = 55,90
Área - Pavimentação	Projeto	-----	-----	39.138,85
Área – Meio fio	Projeto	0,30	11.393,96	3.418,19
Área Preservada	Projeto	-----	-----	198.797,58

5. POLUIÇÃO DO SOLO – P SOLO

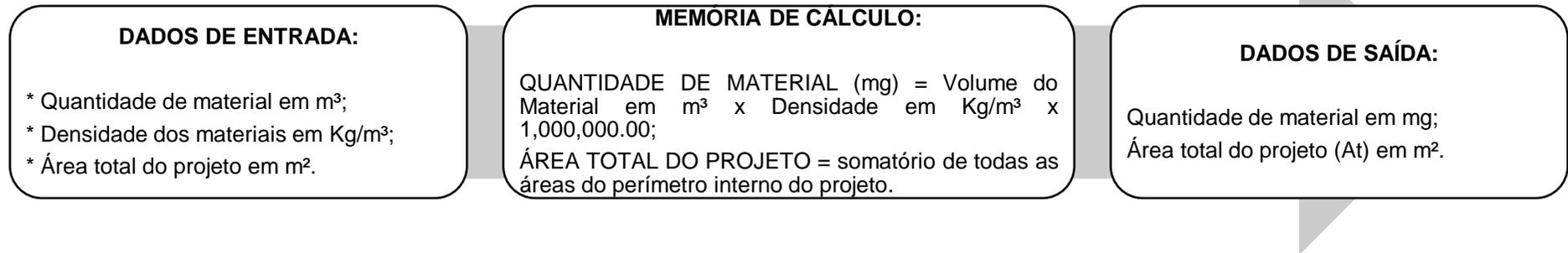


Figura A1.8 – Fluxograma da Poluição do Solo.

Quadro A1.11 –Dados do Projeto e Volume da produção de concreto na Projeto C.

ATIVIDADE	SERVIÇO	MATERIAL	UNIDADE DE MEDIDA	PROJETO A
Sistema de Drenagem	Fabricação das manilhas	Concreto	mg	2.154.072.000.000,00
Meio Fio	Fabricação dos meios fios	Concreto	mg	2.087.424.000.000,00
Área total do projeto	-----	-----	m ²	300.000,00
ATIVIDADE	SERVIÇO	MATERIAL	UNIDADE DE MEDIDA	PROJETO B
Sistema de Drenagem	Fabricação das manilhas	Concreto	mg	311.184.000.000,00
Meio Fio	Fabricação dos meios fios	Concreto	mg	1.425.096.000.000,00
Área total do projeto	-----	-----	m ²	190.000,00
ATIVIDADE	SERVIÇO	MATERIAL	UNIDADE DE MEDIDA	PROJETO C
Sistema de Drenagem	Fabricação das manilhas	Concreto	mg	506.688.000.000,00
Meio Fio	Fabricação dos meios fios	Concreto	mg	1.750.104.000.000,00
Área total do projeto	-----	-----	m ²	415.732,00

6. POLUIÇÃO DAS ÁGUAS – PA

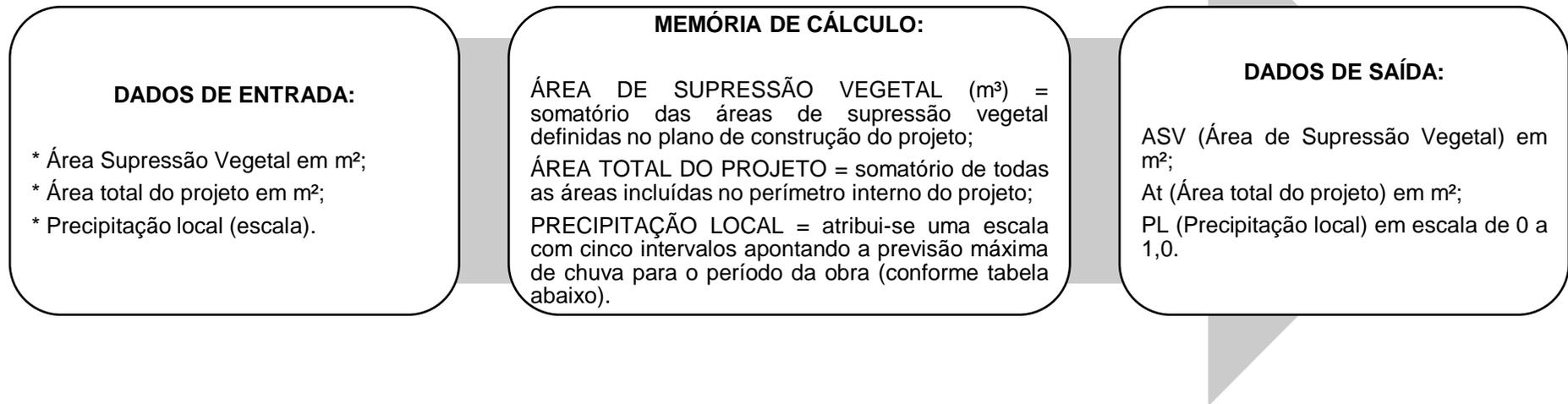


Figura A1.9 – Fluxograma da Poluição das Águas.

Quadro A1.12 –Dados do Projeto e Precipitação local do Projeto A.

DESCRIÇÃO	FONTE	PROJETO A		
		LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	ÁREA (m ²)
Área – Terraplenagem	Projeto	-----	-----	53.818,02
Área – Sistema de Drenagem	Projeto	1,4	6.698,08	9.377,20
Área – Sistema de Abastecimento	Projeto	0,40	6.698,08	2.679,20
Área – Sistema de Energia	Projeto	-----	-----	-----
Área - Pavimentação	Projeto	-----	-----	53.243,18
Área – Meio fio	Projeto	0,30	13.590,00	4.077,00
Área total do projeto	Projeto	-----	-----	300.000,00

Nota: Precipitação local – Aproximadamente 40 mm - Escala: 0,2. (Fonte: inmet.gov.br)

Quadro A1.13 – Dados do Projeto e Precipitação local do Projeto B.

DESCRIÇÃO	FONTE	PROJETO B		
		LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	ÁREA (m ²)
Área – Terraplenagem	Projeto	-----	-----	52.924,37
Área – Sistema de Drenagem	Projeto	1,4	967,61	1.354,65
Área – Sistema de Abastecimento	Projeto	0,40	5.378,00	2.151,20
Área – Sistema de Energia	Projeto	-----	-----	-----
Área - Pavimentação	Projeto	-----	-----	31.878,00
Área – Meio fio	Projeto	0,30	9.278,00	2.783,40
Área total do projeto	Projeto	-----	-----	190.000,00

Nota: Precipitação local – Aproximadamente 108 mm - Escala: 0,6. (Fonte: inmet.gov.br)

Quadro A1.14 –Dados do Projeto e Precipitação local do Projeto C.

DESCRIÇÃO	FONTE	PROJETO C		
		LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	ÁREA (m ²)
Área – Terraplenagem	Projeto	-----	-----	53.201,27
Área – Sistema de Drenagem	Projeto	1,4	1.575,53	2.205,74
Área – Sistema de Abastecimento	Projeto	0,40	4.976,00	1.990,40
Área – Sistema de Energia	Projeto	-----	-----	-----
Área - Pavimentação	Projeto	-----	-----	39.138,85
Área – Meio fio	Projeto	0,30	11.393,96	3.418,19
Área total do projeto	Projeto	-----	-----	415.732,00

Nota: Precipitação local – Aproximadamente 147.32 mm - Escala: 0,6. (Fonte: inmet.gov.br)

Quadro A1.15 – Escala de precipitação.

PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA	ESCALA	DESCRIÇÃO
Até 50 mm	0,2	Pouca
50 – 100 mm	0,4	Razoável
100 – 150 mm	0,6	Ocasional
150 – 200 mm	0,8	Frequente
➤ 200 mm	1,0	Muito frequente

7. USO DE RECURSO E MATÉRIA-PRIMA – URMP

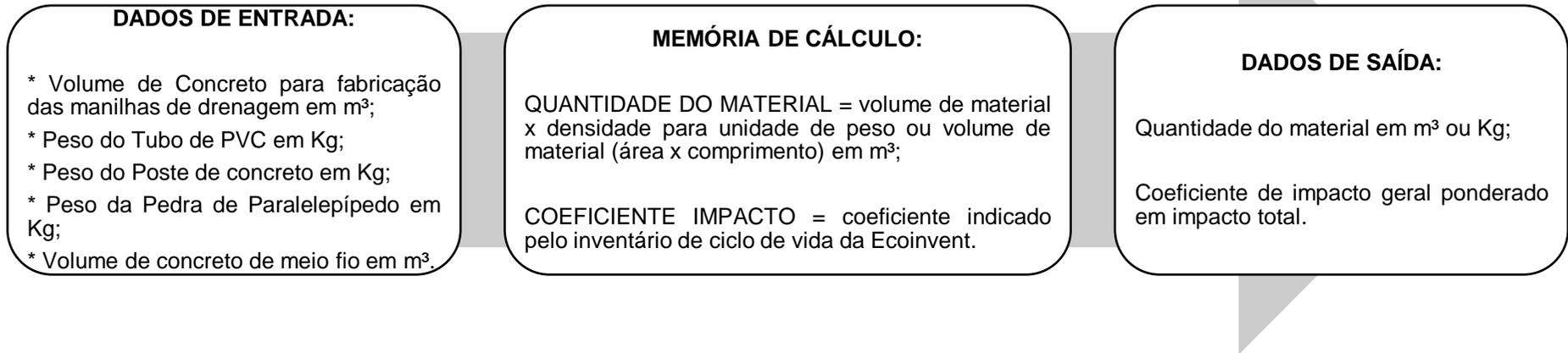


Figura A1.10 – Fluxograma do Uso de Recurso e Matéria-Prima.

Quadro A1.16 –Volume dos materiais do Projeto A em m³ e Kg.

ATIVIDADE	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE UNITÁRIA			PROJETO A			
		MATERIAL	VALOR	UNIDADE	VALOR UNITÁRIO	QUANTIDADE	TOTAL	UNIDADE
Terraplenagem	Sem produtos	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Sist. de Drenagem	Volume	CONCRETO	0,134	m ³ /m	0,134	6.698,08	897,53	m ³
Sist. de Abast.	Peso do tubo	PVC	1,40596	Kg/m	1,40596	6.698,08	9.417,23	Kg
Sistema de Energia	Peso do Poste	CONCRETO	138,18	Kg/m	138,18	11 X 222	337.435,56	Kg
Pavimentação	Peso da pedra	PEDRA	384	Kg/m ²	384	53.243,18	20.445.381,12	Kg
Meio fio	Volume	CONCRETO	0,0639	m ³ /m	0,0639	13.590,00	868,40	m ³

Quadro A1.17 –Volume dos materiais do Projeto B em m³ e Kg.

ATIVIDADE	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE UNITÁRIA			PROJETO B			
		MATERIAL	VALOR	UNIDADE	VALOR UNITÁRIO	QUANTIDADE	TOTAL	UNIDADE
Terraplenagem	Sem produtos	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Sist. de Drenagem	Volume	CONCRETO	0,134	m ³ /m	0,134	967,61	129,66	m ³
Sist. de Abast.	Peso do tubo	PVC	1,40596	Kg/m	1,40596	5.378,00	7.561,25	Kg
Sistema de Energia	Peso do Poste	CONCRETO	138,18	Kg/m	138,18	11 X 155	235.596,90	Kg
Pavimentação	Peso da pedra	PEDRA	384	Kg/m ²	384	31.878,00	12.241.152,00	Kg
Meio fio	Volume	CONCRETO	0,0639	m ³ /m	0,0639	9.278,00	592,86	m ³

Quadro A1.18 –Volume dos materiais do Projeto C em m³ e Kg.

ATIVIDADE	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE UNITÁRIA			PROJETO C			
		MATERIAL	VALOR	UNIDADE	VALOR UNITÁRIO	QUANTIDADE	TOTAL	UNIDADE
Terraplenagem	Sem produtos	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Sist. de Drenagem	Volume	CONCRETO	0,134	m ³ /m	0,134	1.575,53	211,12	m ³
Sist. de Abast.	Peso do tubo	PVC	1,40596	Kg/m	1,40596	4.976,00	6.996,06	Kg
Sistema de Energia	Peso do Poste	CONCRETO	138,18	Kg/m	138,18	11 X 130	197.597,40	Kg
Pavimentação	Peso da pedra	PEDRA	384	Kg/m ²	384	39.138,85	15.029.318,40	Kg
Meio fio	Volume	CONCRETO	0,0639	m ³ /m	0,0639	11.393,96	728,07	m ³

Quadro A1.19 –Inventário do Ciclo de Vida dos materiais da Ecoinvent.

MATERIAL	UNIDADE DE MEDIDA	BASE DE DADOS	COEFICIENTE IMPACTO GERAL PONDERADO
Concreto	m ³	Ecoinvent	7,96298 x 10 ⁻¹²
Aço Estrutural	Kg	Ecoinvent	3,33238 x 10 ⁻¹³
Pedra	Kg	Ecoinvent	2,68542 x 10 ⁻¹⁴
Elemento Pré-moldado	Kg	Ecoinvent	1,41048 x 10 ⁻¹⁵
PVC	Kg	Ecoinvent	5,65945 x 10 ⁻¹⁴

8. RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO – RCD

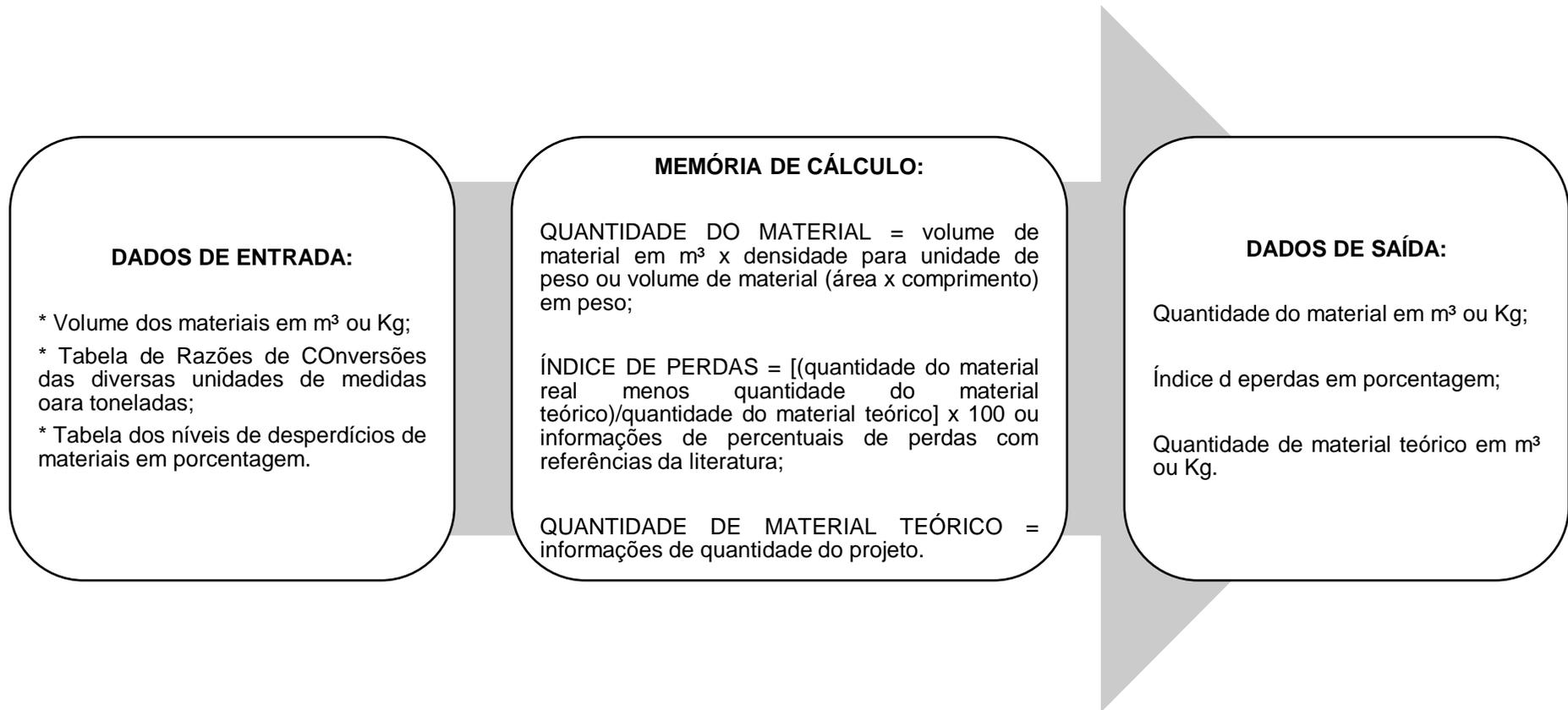


Figura A1.11 – Fluxograma do Resíduo da Construção e Demolição.

Quadro A1.20 –Volume dos materiais do Projeto A em m³ e Kg.

ATIVIDADE	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE UNITÁRIA			PROJETO A			
		MATERIAL	VALOR	UNIDADE	VALOR UNITÁRIO	QUANTIDADE	TOTAL	UNIDADE
Terraplenagem	Bota-fora	SOLO	-----	-----	1	38.709,53	38.709,53	m ³
Sist. de Drenagem	Volume	CONCRETO	0,134	m ³ /m	0,134	6.698,08	897,54	m ³
Sist. de Abast.	Peso do tubo	PVC	1,40596	kg/m	1,40596	6.698,08	9.417,23	Kg
Sistema de Energia	Peso do Poste	CONCRETO	138,18	Kg/m	138,18	11 X 222	337.435,56	Kg
Pavimentação	Peso da pedra	PEDRA	384	Kg/m ²	384	53.243,18	20.445.381,12	Kg
Pavimentação	Volume	AREIA	0,04	m ³ /m ²	0,04	53.243,18	2.129,73	m ³
Meio fio	Volume	CONCRETO	0,0639	m ³ /m	0,0639	13.590,00	868,40	m ³

Quadro A1.21 –Volume dos materiais do Projeto B em m³ e Kg.

ATIVIDADE	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE UNITÁRIA			PROJETO B			
		MATERIAL	VALOR	UNIDADE	VALOR UNITÁRIO	QUANTIDADE	TOTAL	UNIDADE
Terraplenagem	Bota-fora	SOLO	-----	-----	1	1.747,72	1.747,72	m ³
Sist. de Drenagem	Volume	CONCRETO	0,134	m ³ /m	0,134	967,61	129,66	m ³
Sist. de Abast.	Peso do tubo	PVC	1,40596	kg/m	1,40596	5.378,00	7.561,25	Kg
Sistema de Energia	Peso do Poste	CONCRETO	138,18	Kg/m	138,18	11 X 155	235.596,90	Kg
Pavimentação	Peso da pedra	PEDRA	384	Kg/m ²	384	31.878,00	12.241.152,00	Kg
Pavimentação	Volume	AREIA	0,04	m ³ /m ²	0,04	31.878,00	1.275,12	m ³
Meio fio	Volume	CONCRETO	0,0639	m ³ /m	0,0639	9.278,00	592,86	m ³

Quadro A1.22 –Volume dos materiais do Projeto C em m³ e Kg.

ATIVIDADE	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE UNITÁRIA			PROJETO C			
		MATERIAL	VALOR	UNIDADE	VALOR UNITÁRIO	QUANTIDADE	TOTAL	UNIDADE
Terraplenagem	Bota-fora	SOLO	-----	-----	1	3.795,36	3.795,36	m ³
Sist. de Drenagem	Volume	CONCRETO	0,134	m ³ /m	0,134	1.575,53	211,12	m ³
Sist. de Abast.	Peso do tubo	PVC	1,40596	kg/m	1,40596	4.976,00	6.996,06	Kg
Sistema de Energia	Peso do Poste	CONCRETO	138,18	Kg/m	138,18	11 X 130	197.597,40	Kg
Pavimentação	Peso da pedra	PEDRA	384	Kg/m ²	384	39.138,85	15.029.318,40	Kg
Pavimentação	Volume	AREIA	0,04	m ³ /m ²	0,04	39.138,85	1.565,55	m ³
Meio fio	Volume	CONCRETO	0,0639	m ³ /m	0,0639	11.393,96	728,07	m ³

Quadro A1.23 –Tabela de Conversão das unidades de medidas dos materiais em toneladas.

MATERIAL	UNIDADE DE MEDIDA	TAXA DE CONVERSÃO (tonelada)	FONTE
Concreto	m ³	2,3	Li et al. (2016)
Areia	Kg	1,5	Li et al. (2016)
PVC	Kg	-----	-----
Pedra Granítica	Kg	-----	-----
Solo	Kg		Li et al. (2016)

Quadro A1.24 –Tabela de Percentuais de Perdas dos materiais.

ATIVIDADES - PERDAS	CONCRETO	AREIA	PVC	PEDRA GRANÍTICA	SOLO
Terraplenagem (Bota fora)					100 % - Fonte: Projeto
Sist. Drenagem	1,5 % - Fonte: Li et al. (2016)				
Sist. Abast. Água			2,0 % - Fonte: Mersowesky et al. (2001)		
Sist. Energia	0,0 % - Fonte: Elem. Pré moldado				
Pavimentação		2,0 % - Fonte: Li et al. (2016)		2,0 % - Fonte: Calculado no Proj.	
Meio fio	1,5 % - Fonte: Li et al. (2016)				

9. USO DA ÁGUA – UA

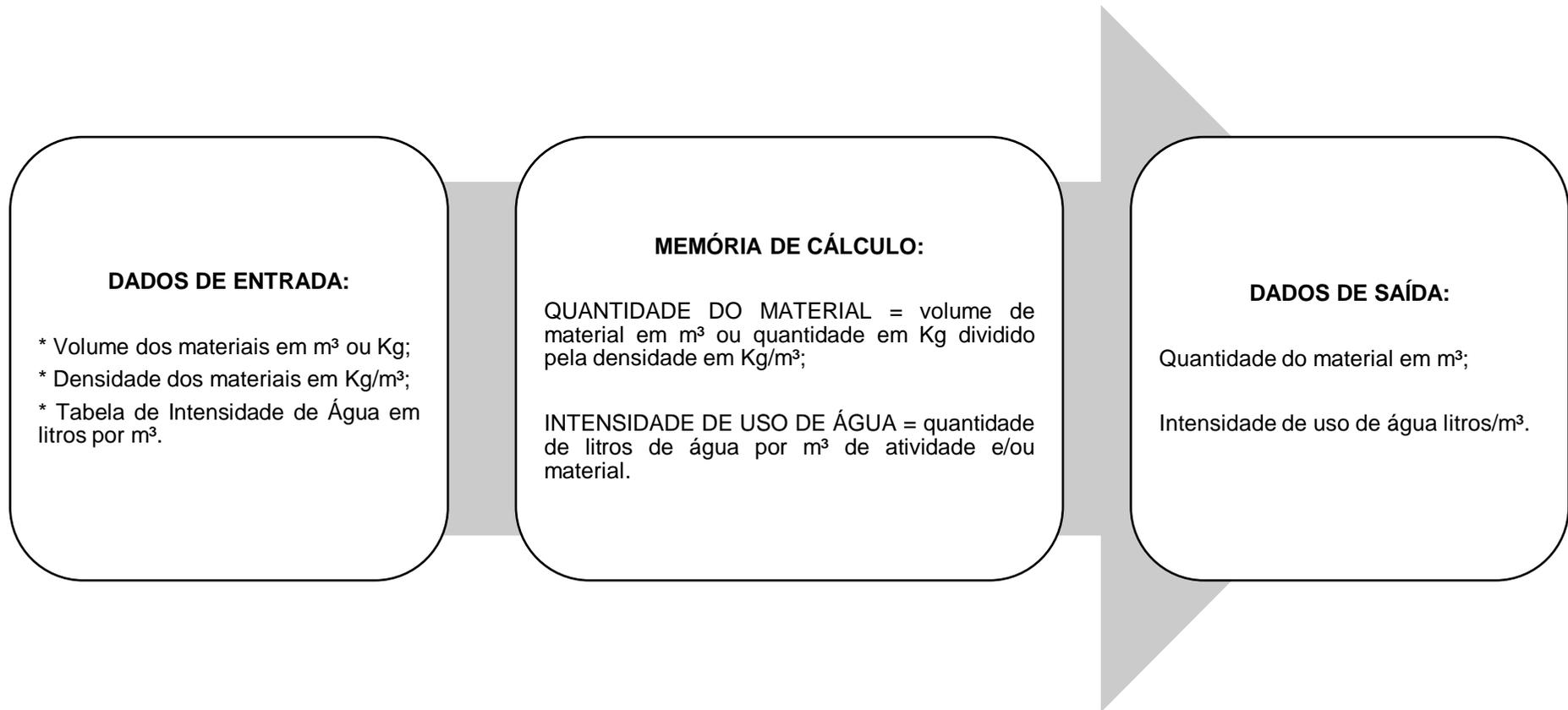


Figura A1.12 – Fluxograma do Uso da Água.

Quadro A1.25 –Volume dos materiais do Projeto A em m³ e Kg.

ATIVIDADE	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE UNITÁRIA			PROJETO A			
		MATERIAL	VALOR	UNIDADE	VALOR UNITÁRIO	QUANTIDADE	TOTAL	UNIDADE
Terraplenagem	Bota-fora	SOLO	-----	-----	1	38.709,53	38.709,53	m ³
Sist. de Drenagem	Volume	CONCRETO	0,134	m ³ /m	0,134	6.698,08	897,54	m ³
Sist. de Abast.	Peso do tubo	PVC	1,40596	kg/m	1,40596	6.698,08	9.417,23	Kg
Sistema de Energia	Peso do Poste	CONCRETO	138,18	Kg/m	138,18	11 X 222	337.435,56	Kg
Pavimentação	Peso da pedra	PEDRA	384	Kg/m ²	384	53.243,18	20.445.381,12	Kg
Pavimentação	Volume	AREIA	0,04	m ³ /m ²	0,04	53.243,18	2.129,73	m ³
Meio fio	Volume	CONCRETO	0,0639	m ³ /m	0,0639	13.590,00	868,40	m ³

Quadro A1.26 –Volume dos materiais do Projeto B em m³ e Kg.

ATIVIDADE	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE UNITÁRIA			PROJETO B			
		MATERIAL	VALOR	UNIDADE	VALOR UNITÁRIO	QUANTIDADE	TOTAL	UNIDADE
Terraplenagem	Bota-fora	SOLO	-----	-----	1	1.747,72	1.747,72	m ³
Sist. de Drenagem	Volume	CONCRETO	0,134	m ³ /m	0,134	967,61	129,66	m ³
Sist. de Abast.	Peso do tubo	PVC	1,40596	kg/m	1,40596	5.378,00	7.561,25	Kg
Sistema de Energia	Peso do Poste	CONCRETO	138,18	Kg/m	138,18	11 X 155	235.596,90	Kg
Pavimentação	Peso da pedra	PEDRA	384	Kg/m ²	384	31.878,00	12.241.152,00	Kg
Pavimentação	Volume	AREIA	0,04	m ³ /m ²	0,04	31.878,00	1.275,12	m ³
Meio fio	Volume	CONCRETO	0,0639	m ³ /m	0,0639	9.278,00	592,86	m ³

Quadro A1.27 –Volume dos materiais do Projeto C em m³ e Kg.

ATIVIDADE	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE UNITÁRIA			PROJETO C			
		MATERIAL	VALOR	UNIDADE	VALOR UNITÁRIO	QUANTIDADE	TOTAL	UNIDADE
Terraplenagem	Bota-fora	SOLO	-----	-----	1	3.795,36	3.795,36	m ³
Sist. de Drenagem	Volume	CONCRETO	0,134	m ³ /m	0,134	1.575,53	211,12	m ³
Sist. de Abast.	Peso do tubo	PVC	1,40596	kg/m	1,40596	4.976,00	6.996,06	Kg
Sistema de Energia	Peso do Poste	CONCRETO	138,18	Kg/m	138,18	11 X 130	197.597,40	Kg
Pavimentação	Peso da pedra	PEDRA	384	Kg/m ²	384	39.138,85	15.029.318,40	Kg
Pavimentação	Volume	AREIA	0,04	m ³ /m ²	0,04	39.138,85	1.565,55	m ³
Meio fio	Volume	CONCRETO	0,0639	m ³ /m	0,0639	11.393,96	728,07	m ³

Quadro A1.28 –Tabela de intensidade de Água dos materiais e serviços.

ATIVIDADE	SERVIÇO	UNIDADE DE MEDIDA	INTENSIDADE DE ÁGUA	FONTE
Terraplenagem	Compactação do solo	l/m ³	3	Projeto
Sist. Drenagem	Fabricação da manilha de Concreto	l/m ³	125	Souza et al. (2013)
Sist. Abast. Água	Fabricação da tubulação de PVC	l/Kg	0	Chanda & Roy et al. (2006)
Sist. Energia Elétrica	Fabricação dos Postes Pré moldados	l/m ³	125	Souza et al. (2013)
Pavimentação	Fabricação da Pedra Granítica	l/m ³	93,80	Souza et al. (2013)
Pavimentação	Compactação do Colchão de areia	l/m ²	0,5	Projeto
Meio fio	Fabricação do meio fio de concreto	l/m ³	125	Souza et al. (2013)

Quadro A1.29 –Valor da densidade do concreto.

DESCRIÇÃO	MATERIAL	UNIDADE DE MEDIDA	VALOR	FONTE
Densidade	Concreto	Kg/m ³	2.400,00	Li et al. (2016)

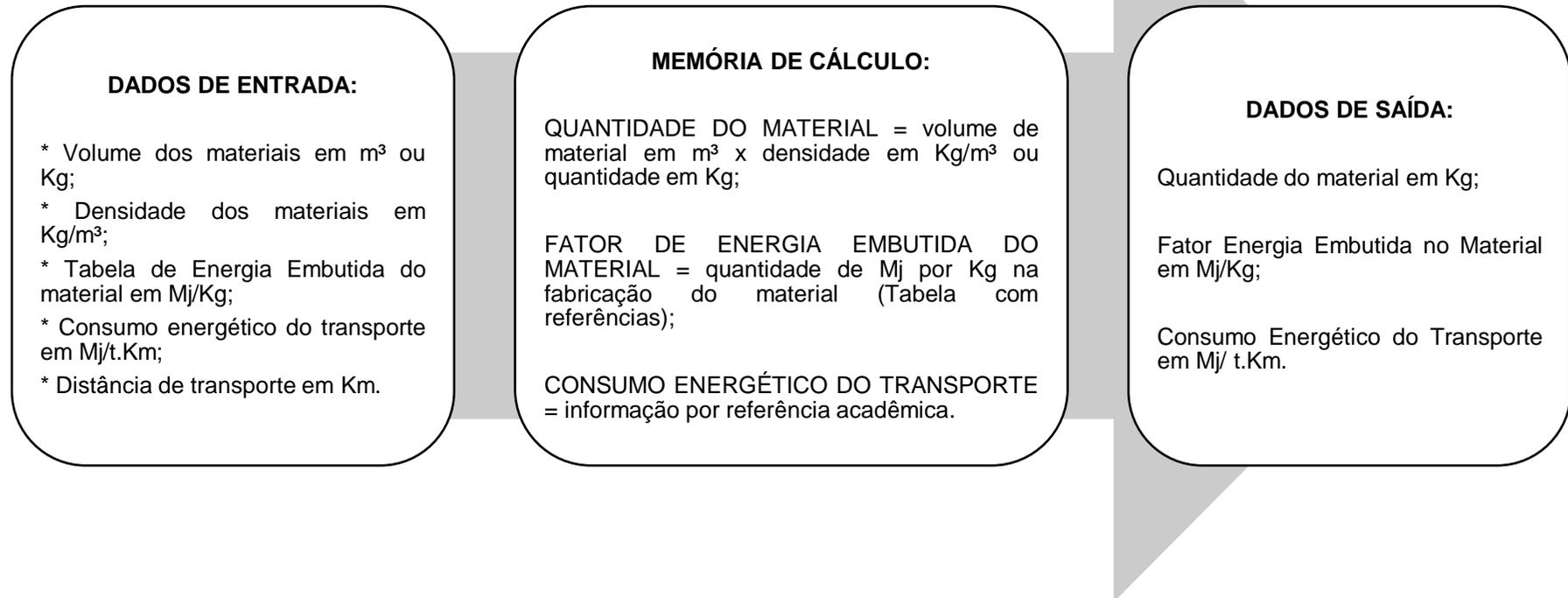
10. USO DE ENERGIA – EU

Figura A1.13 – Fluxograma do Uso de Energia.

Quadro A1.30 –Volume dos materiais do Projeto A em m³ e Kg.

ATIVIDADE	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE UNITÁRIA			PROJETO A			
		MATERIAL	VALOR	UNIDADE	VALOR UNITÁRIO	QUANTIDADE	TOTAL	UNIDADE
Terraplenagem	Bota-fora	SOLO	-----	-----	1	38.709,53	38.709,53	m ³
Sist. de Drenagem	Volume	CONCRETO	0,134	m ³ /m	0,134	6.698,08	897,54	m ³
Sist. de Abast.	Peso do tubo	PVC	1,40596	kg/m	1,40596	6.698,08	9.417,23	Kg
Sistema de Energia	Peso do Poste	CONCRETO	138,18	Kg/m	138,18	11 X 222	337.435,56	Kg
Pavimentação	Peso da pedra	PEDRA	384	Kg/m ²	384	53.243,18	20.445.381,12	Kg
Pavimentação	Volume	AREIA	0,04	m ³ /m ²	0,04	53.243,18	2.129,73	m ³
Meio fio	Volume	CONCRETO	0,0639	m ³ /m	0,0639	13.590,00	868,40	m ³

Quadro A1.31 –Volume dos materiais do Projeto B em m³ e Kg.

ATIVIDADE	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE UNITÁRIA			PROJETO B			
		MATERIAL	VALOR	UNIDADE	VALOR UNITÁRIO	QUANTIDADE	TOTAL	UNIDADE
Terraplenagem	Bota-fora	SOLO	-----	-----	1	1.747,72	1.747,72	m ³
Sist. de Drenagem	Volume	CONCRETO	0,134	m ³ /m	0,134	967,61	129,66	m ³
Sist. de Abast.	Peso do tubo	PVC	1,40596	kg/m	1,40596	5.378,00	7.561,25	Kg
Sistema de Energia	Peso do Poste	CONCRETO	138,18	Kg/m	138,18	11 X 155	235.596,90	Kg
Pavimentação	Peso da pedra	PEDRA	384	Kg/m ²	384	31.878,00	12.241.152,00	Kg
Pavimentação	Volume	AREIA	0,04	m ³ /m ²	0,04	31.878,00	1.275,12	m ³
Meio fio	Volume	CONCRETO	0,0639	m ³ /m	0,0639	9.278,00	592,86	m ³

Quadro A1.32 –Volume dos materiais do Projeto C em m³ e Kg.

ATIVIDADE	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE UNITÁRIA			PROJETO C			
		MATERIAL	VALOR	UNIDADE	VALOR UNITÁRIO	QUANTIDADE	TOTAL	UNIDADE
Terraplenagem	Bota-fora	SOLO	-----	-----	1	3.795,36	3.795,36	m ³
Sist. de Drenagem	Volume	CONCRETO	0,134	m ³ /m	0,134	1.575,53	211,12	m ³
Sist. de Abast.	Peso do tubo	PVC	1,40596	kg/m	1,40596	4.976,00	6.996,06	Kg
Sistema de Energia	Peso do Poste	CONCRETO	138,18	Kg/m	138,18	11 X 130	197.597,40	Kg
Pavimentação	Peso da pedra	PEDRA	384	Kg/m ²	384	39.138,85	15.029.318,40	Kg
Pavimentação	Volume	AREIA	0,04	m ³ /m ²	0,04	39.138,85	1.565,55	m ³
Meio fio	Volume	CONCRETO	0,0639	m ³ /m	0,0639	11.393,96	728,07	m ³

Quadro A1.33 –Distâncias médias de transportes dos Projetos A, B e C em Km.

ATIVIDADE	SERVIÇO	UNIDADE DE MEDIDA	PROJETO A	PROJETO B	PROJETO C
Terraplenagem	Aterro/Compactação do solo	Km	6,698	5,378	4,976
Terraplenagem	Bota fora	Km	1,8	1,8	1,8
Sist. Drenagem	Transporte - manilha de Concreto	Km	6,698	5,378	4,976
Sist. Abast. Água	Transporte - tubulação de PVC	Km	6,698	5,378	4,976
Sist. Energia Elétrica	Transporte - Postes Pré moldados	Km	6,698	5,378	4,976
Pavimentação	Transporte - Pedra Granítica e Areia	Km	6,698	5,378	4,976
Meio fio	Transporte - meio fio de concreto	Km	6,698	5,378	4,976

Quadro A1.34 –Densidades dos materiais, Energia para transporte e Energia Embutida nos materiais.

DESCRIÇÃO	MATERIAL	UNIDADE DE MEDIDA	VALOR	FONTE
Densidade	Concreto	Kg/m ³	2.400,00	Li et al. (2016)
Densidade	Areia	Kg/m ³	1,5	Li et al. (2016)
Energia para Transporte	TODOS	Mj/ t. Km	1,76	Teodoro (2017)
Energia Embutida no Material	Concreto	Mj/Kg	1,6	Sposto & Pauder (2013)
Energia Embutida no Material	PVC	Mj/Kg	70,00	Sposto & Pauder (2013)
Energia Embutida no Material	Pedra	Mj/Kg	0,02	Teodoro (2017)

APÊNDICE B – MEMÓRIA DE CÁLCULO DO ASPECTO AMBIENTAL POLUIÇÃO SONORA DO PROJETO A

Exemplo do cálculo da Poluição Sonora do Projeto A: Metodologia (Haron et al., 2012).

COMO CALCULAR PREVISÃO DA POLUIÇÃO SONORA:

- a) Decidir sobre W (largura) e d (profundidade) da subárea, onde equipamento opera;
- b) Determinar o ângulo da posição do receptor em relação ao centro do local “ θ ”;
- c) Determinar a distância do centro do local (fonte) ao receptor, r e a razão r/w ;
- d) Determinar o desvio padrão (σ), consultar o gráfico do artigo de Haron et al. (2012);
- e) Determinar ΔL (Desvio do nível médio de ruído), usar o gráfico do artigo de Haron et al. (2012);
- f) Calcular L_p (Nível médio de ruído), utilizar a equação.



Figura A1.14 – Croqui das distâncias dos Equipamentos.

Fonte: Google Earth (acesso em 02/03/2020)

Quadro A1.35 – Informações das Subáreas A e B.

SUBÁREA A		SUBÁREA B	
Atividade	Compactação (Estradas)	Atividade	Corte
Dimensões	40 x 40 m	Dimensões	40 x 40 m
r	50,07 m	r	90,17 m
W	40 m	W	40 m
Θ	15°	Θ	0°

TERRAPLENAGEM:**EQUIPAMENTOS:**

Quadro A1.36 – Equipamentos das Subáreas A e B.

SUBÁREA A (COMPACTAÇÃO)	SUBÁREA B (CORTE)
ROLO COMPACTADOR	ESCAVADEIRA
MOTONIVELADORA	CARREGADEIRA
CAMINHÃO TANQUE	CAMINHÃO BASCULANTE
CAMINHÃO BASCULANTE	

Quadro A1.37 – Dados dos Equipamentos da Subárea A.

SUBÁREA	EQUIPAMENTOS	Lw	r; θ ; w/d; r/w	$\bar{\sigma}$ (Fig.3)	ΔL (Fig.5)	Lp dB 6horas
A (COMPACTAÇÃO)	CAMINHÃO TANQUE	93	r = 50,07 m	1,2	0,05	51,06
	MOTONIVELADORA	111	$\theta = 15^\circ$			69,04
	CAMINHÃO BASCULANTE	93	w/d = 1			51,05
	ROLO COMPACTADOR	107	r/w = 1,25			65,04

CAMINHÃO TANQUE:

$$L_p = L_w - 20 \log_{10} r - 8 + \Delta L$$

$$L_p = 93 - 20 \log_{10} 50,07 - 8 + 0,05$$

$$\mathbf{L_p = 51,06 \text{ dB}}$$

MOTONIVELADORA:

$$L_p = L_w - 20 \log_{10} r - 8 + \Delta L$$

$$L_p = 111 - 20 \log_{10} 50,07 - 8 + 0,05$$

$$\mathbf{L_p = 69,04 \text{ dB}}$$

CAMINHÃO BASCULANTE:

$$L_p = L_w - 20 \log_{10} r - 8 + \Delta L$$

$$L_p = 93 - 20 \log_{10} 50,07 - 8 + 0,05$$

$$\mathbf{L_p = 51,05 \text{ dB}}$$

ROLO COMPACTADOR:

$$L_p = L_w - 20\log_{10} r - 8 + \Delta L$$

$$L_p = 107 - 20\log_{10} 50,07 - 8 + 0,05$$

$$L_p = 65,04 \text{ dB}$$

Quadro A1.38 – Dados dos Equipamentos da Subárea B.

SUBÁREA	EQUIPAMENTOS	Lw	r; θ ; w/d; r/w	$\bar{\sigma}$ (Fig.3)	ΔL (Fig. 5)	Lp dB 6horas
B (CORTE)	ESCAVADEIRA	103	r = 90,17 m	0,7	0,0	55,89
	CARREGADEIRA	103	$\Theta = 15^\circ$			55,89
	CAMINHÃO BASCULANTE	93	w/d = 1; r/w = 2,25			45,90

ESCAVADEIRA:

$$L_p = L_w - 20\log_{10} r - 8 + \Delta L$$

$$L_p = 103 - 20\log_{10} 90,17 - 8 + 0,0$$

$$L_p = 55,89 \text{ dB}$$

CARREGADEIRA:

$$L_p = L_w - 20\log_{10} r - 8 + \Delta L$$

$$L_p = 103 - 20\log_{10} 90,17 - 8 + 0,0$$

$$L_p = 55,89 \text{ dB}$$

CAMINHÃO BASCULANTE:

$$L_p = L_w - 20 \log_{10} r - 8 + \Delta L$$

$$L_p = 93 - 20 \log_{10} 90,17 - 8 + 0,05$$

$$L_p = 45,90 \text{ dB}$$

NÍVEL MÉDIO DE RUÍDO COMBINADO (TODOS EQUIPAMENTOS)

$$L_{a \text{ equ}} = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{pn}}{10}} \right)$$

$$L_{a \text{ equ}} = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{51,06}{10}} + 10^{\frac{69,04}{10}} + 10^{\frac{51,05}{10}} + 10^{\frac{65,04}{10}} + 10^{\frac{55,89}{10}} + 10^{\frac{55,89}{10}} + 10^{\frac{45,90}{10}} \right)$$

$$\underline{L_{a \text{ equiv.}} = 70,86 \text{ dB}}$$

SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL:**EQUIPAMENTOS:**

Quadro A1.39 – Equipamentos da Subárea A.

SUBÁREA A (ESCAVAÇÃO)
ESCAVADEIRA
CAMINHÃO BASCULANTE

Quadro A1.40 – Dados do Equipamentos da Subárea A.

SUBÁREA	EQUIPAMENTOS	Lw	r; θ ; w/d; r/w	$\bar{\sigma}$ (Fig. 3)	ΔL (Fig. 5)	Lp dB 6horas
A (ESCAVAÇÃO DE VALA)	ESCAVADEIRA	103	r = 50,07 m; $\Theta = 15^\circ$	1,2	0,05	61,04
	CAMINHÃO BASCULANTE	93	w/d = 1; r/w = 1,25			51,05

ESCAVADEIRA:

$$L_p = L_w - 20 \log_{10} r - 8 + \Delta L$$

$$L_p = 103 - 20 \log_{10} 50,07 - 8 + 0,05$$

$$\mathbf{L_p = 61,04 \text{ dB}}$$

CAMINHÃO BASCULANTE:

$$L_p = L_w - 20 \log_{10} r - 8 + \Delta L$$

$$L_p = 93 - 20 \log_{10} 50,07 - 8 + 0,05$$

$$\mathbf{L_p = 51,05 \text{ dB}}$$

NÍVEL MÉDIO DE RUÍDO COMBINADO (TODOS EQUIPAMENTOS)

$$L_{a \text{ equ}} = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{pn}}{10}} \right)$$

$$L_{a \text{ equ}} = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{61,04}{10}} + 10^{\frac{51,05}{10}} \right)$$

$$\mathbf{\underline{L_{a \text{ equiv.}} = 61,46 \text{ dB}}}$$

SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA:

EQUIPAMENTOS:

Quadro A1.41 – Equipamentos da Subárea A.

SUBÁREA A (ESCAVAÇÃO)
ESCAVADEIRA
CAMINHÃO BASCULANTE

Quadro A1.42 – Dados dos Equipamentos da Subárea A.

SUBÁREA	EQUIPAMENTOS	Lw	r; θ ; w/d; r/w	$\bar{\sigma}$ (Fig. 3)	ΔL (Fig. 5)	Lp dB 6horas
A (ESCAVAÇÃO DE VALA)	ESCAVADEIRA	103	$r = 50,07 \text{ m}; \theta = 15^\circ$	1,2	0,05	61,04
	CAMINHÃO BASCULANTE	93	$w/d = 1; r/w = 1,25$			51,05

ESCAVADEIRA:

$$L_p = L_w - 20\log_{10} r - 8 + \Delta L$$

$$L_p = 103 - 20\log_{10} 50,07 - 8 + 0,05$$

$$\mathbf{L_p = 61,04 \text{ dB}}$$

CAMINHÃO BASCULANTE:

$$L_p = L_w - 20\log_{10} r - 8 + \Delta L$$

$$L_p = 93 - 20\log_{10} 50,07 - 8 + 0,05$$

$$\mathbf{L_p = 51,05 \text{ dB}}$$

NÍVEL MÉDIO DE RUÍDO COMBINADO (TODOS EQUIPAMENTOS)

$$La_{equ} = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{Lp1}{10}} + 10^{\frac{Lp2}{10}} + \dots + 10^{\frac{Lpn}{10}} \right)$$

$$La_{equ} = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{61,04}{10}} + 10^{\frac{51,05}{10}} \right)$$

La equiv. = 61,46 dB

SISTEMA DE ENERGIA ELÉTRICA:

EQUIPAMENTOS:

Quadro A1.43 – Equipamentos da Subárea A.

SUBÁREA A (ESCAVAÇÃO E INSTALAÇÃO)
ESCAVADEIRA
CAMINHÃO BASCULANTE
CAMINHÃO TRANSPORTE POSTE C/ GUINDASTE

Quadro A1.44 – Dados dos Equipamentos da Subárea A.

SUBÁREA	EQUIPAMENTOS	Lw	r; θ ; w/d; r/w	$\bar{\sigma}$ (Fig.3)	ΔL (Fig. 5)	Lp dB 6horas
A (ESCAVAÇÃO E INSTALAÇÃO DE POSTE)	ESCAVADEIRA	103	r = 50,07 m; $\Theta = 15^\circ$	1,2	0,05	61,04
	CAMINHÃO BASCULANTE	93	w/d = 1;			51,05
	CAMINHÃO MUCK	93	r/w = 1,25			51,05

ESCAVADEIRA:

$$L_p = L_w - 20\log_{10} r - 8 + \Delta L$$

$$L_p = 103 - 20\log_{10} 50,07 - 8 + 0,05$$

$$\mathbf{L_p = 61,04 \text{ dB}}$$

CAMINHÃO BASCULANTE:

$$L_p = L_w - 20\log_{10} r - 8 + \Delta L$$

$$L_p = 93 - 20\log_{10} 50,07 - 8 + 0,05$$

$$\mathbf{L_p = 51,05 \text{ dB}}$$

CAMINHÃO MUCK:

$$L_p = L_w - 20\log_{10} r - 8 + \Delta L$$

$$L_p = 93 - 20\log_{10} 50,07 - 8 + 0,05$$

$$\mathbf{L_p = 51,05 \text{ dB}}$$

NÍVEL MÉDIO DE RUÍDO COMBINADO (TODOS EQUIPAMENTOS)

$$L_{a \text{ equ}} = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{pn}}{10}} \right)$$

$$L_{a \text{ equ}} = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{61,04}{10}} + 10^{\frac{51,05}{10}} + 10^{\frac{51,05}{10}} \right)$$

$$\mathbf{\underline{L_{a \text{ equiv.}} = 61,83 \text{ dB}}}$$

PAVIMENTAÇÃO:**EQUIPAMENTOS:**

Quadro A1.45 – Equipamentos da Subárea A.

SUBÁREA A (DESCARGA)
CAMINHÃO BASCULANTE (AREIA)
CAMINHÃO BASCULANTE (PARALELEPÍPEDO)

Quadro A1.46 – Dados dos Equipamentos da Subárea A.

SUBÁREA	EQUIPAMENTOS	Lw	r; θ ; w/d; r/w	$\bar{\sigma}$ (Fig. 3)	ΔL (Fig. 5)	Lp dB 6horas
A (DESCARGA DE MATERIAL)	CAMINHÃO BASCULANTE	93	r = 50,07 m; $\Theta = 15^\circ$	1,2	0,05	51,05
	CAMINHÃO BASCULANTE	93	w/d = 1; r/w = 1,25			51,05

CAMINHÃO BASCULANTE (AREIA):

$$L_p = L_w - 20\log_{10} r - 8 + \Delta L$$

$$L_p = 93 - 20\log_{10} 50,07 - 8 + 0,05$$

$$\mathbf{L_p = 51,05 \text{ dB}}$$

CAMINHÃO BASCULANTE (PARALELEPÍPEDO):

$$L_p = L_w - 20\log_{10} r - 8 + \Delta L$$

$$L_p = 93 - 20\log_{10} 50,07 - 8 + 0,05$$

$$\mathbf{L_p = 51,05 \text{ dB}}$$

NÍVEL MÉDIO DE RUÍDO COMBINADO (TODOS EQUIPAMENTOS)

$$La_{equ} = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{Lp1}{10}} + 10^{\frac{Lp2}{10}} + \dots + 10^{\frac{Lpn}{10}} \right)$$

$$La_{equ} = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{51,05}{10}} + 10^{\frac{51,05}{10}} \right)$$

La equiv. = 54,06 dB

MEIO FIO:**EQUIPAMENTOS:**

Quadro A1.47 – Equipamentos da Subárea A.

SUBÁREA A (DESCARGA)
CAMINHÃO BASCULANTE (MEIO FIO)

Quadro A1.48 – Dados dos Equipamentos da Subárea A.

SUBÁREA	EQUIPAMENTOS	Lw	r; θ ; w/d; r/w	$\bar{\sigma}$ (Fig. 3)	ΔL (Fig. 5)	Lp dB 6horas
A (DESCARGA DE MATERIAL)	CAMINHÃO BASCULANTE	93	r = 50,07 m; $\Theta = 15^\circ$; w/d = 1; r/w = 1,25	1,2	0,05	51,05

CAMINHÃO BASCULANTE:

$$Lp = Lw - 20 \log_{10} r - 8 + \Delta L$$

$$Lp = 93 - 20 \log_{10} 50,07 - 8 + 0,05$$

Lp = 51,05 dB

NÍVEL MÉDIO DE RUÍDO COMBINADO (TODOS EQUIPAMENTOS)

$$La_{equ} = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{Lp1}{10}} + 10^{\frac{Lp2}{10}} + \dots + 10^{\frac{Lpn}{10}} \right)$$

$$La_{equ} = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{51,05}{10}} \right)$$

La equiv. = 51,05 dB

Quadro A1.49 – Poluição Sonora das Atividades.

POLUIÇÃO SONORA (PS)			
Nº	PROCESSO/ATIVIDADE CONSTRUTIVA	QUANTIFICAÇÃO	UNIDADE
01	<u>TERRAPLENAGEM</u>	70,86	dB
02	<u>SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL</u>	61,46	dB
03	<u>SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA</u>	61,46	dB
04	<u>SISTEMA DE ENERGIA ELÉTRICA</u>	61,83	dB
05	<u>PAVIMENTAÇÃO</u>	54,06	dB
06	<u>MEIO FIO</u>	51,05	dB

ANEXO A - INFORMAÇÕES DO ORÇAMENTO BÁSICO

Quadro A1.50 – Quantitativos dos Orçamentos dos Projetos A, B e C.

ACOMPANHAMENTO FÍSICO-FINANCEIRO

OBRA		PROJETO A	PROJETO B	PROJETO C
DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UND	QUANTIDADE	QUANTIDADE	QUANTIDADE
<u>TOPOGRAFIA</u>				
MARCAÇÃO DAS QUADRAS	UND	26,00	19,00	26,00
MARCAÇÃO DOS LOTES	UND	847	614	771
<u>SERVIÇOS PRELIMINARES</u>				
PLACA DE OBRA	UND	1,00	1,00	1,00
<u>TERRAPLENAGEM</u>				
LIMPEZA DO TERRENO	M2	300.000,00	190.000,00	415.732,00
CORTE / ATERRO	M2	191.461,24	20.340,32	104.399,08
ABERTURA DE RUAS	M2	53.818,02	45.692,61	53.201,27
<u>SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL</u>				
DRENAGEM SUPERFICIAL	M	6.698,00	967,61	1.575,53
<u>SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL</u>				
ASSENTAMENTO DA TUBULAÇÃO (INCLUINDO REATERRO)	M	6.698,00	5.378,00	4.976,00
INSTALAÇÃO RAMAL PREDIAL	UND	847,00	614,00	771,00
<u>SISTEMA DE ENERGIA ELÉTRICA</u>				
COLOCAÇÃO DE POSTES	UND	222	155	130
INSTALAÇÃO DA REDE DE MÉDIA BAIXA TENSÃO (MEDIDO APÓS PASSAGEM POR CADA POSTE)	UND	222	155	130
INSTALAÇÃO DE IP	UND	222	155	130
INSTALAÇÃO DOS TRANSFORMADORES	UND	8	6	1
LIGAÇÃO DA CONCESSIONÁRIA	UND	1	1	1
<u>PAVIMENTAÇÃO</u>				
PAVIMENTAÇÃO (CBUQ, TSD, CALÇAMENTO)	M2	53.243,18	31.878,00	39.139,85
<u>MEIO FIO</u>				
ASSENTAMENTO DO MEIO FIO	M	13.590,00	9.278,00	11.393,96
<u>OBRAS CIVIS - ÁREA COMUM</u>				
EXECUÇÃO DE PRAÇAS	VB	1,00	1,00	1,00
<u>OBRAS CIVIS - OBRAS EXTERNA</u>				
ACESSO	M2	2,430.00	NC	NC

