

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E DO CUSTO DE
UMA EDIFICAÇÃO DE CONCRETO ESTRUTURAL
COM DIFERENTES TRAÇOS: ESTUDO DO BERÇO
AO PORTÃO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Raquel Petry Brondani

Santa Maria, RS, Brasil

2015

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E DO CUSTO DE UMA
EDIFICAÇÃO DE CONCRETO ESTRUTURAL COM
DIFERENTES TRAÇOS: ESTUDO DO BERÇO AO PORTÃO**

Raquel Petry Brondani

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Cechella Isaia
Coorientador: Prof. Dr. Gerson Moacyr Sisniegas Alva

Santa Maria, RS, Brasil

2015

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com dados fornecidos pela autora.

Brondani, Raquel Petry
Avaliação do ciclo de vida e do custo de uma edificação de concreto estrutural com diferentes traços: estudo do berço ao portão / Raquel Petry Brondani.-2015.
224 p. ; 30cm

Orientador: Geraldo Cechella Isaia
Coorientador: Gerson Moacyr Sisniegas Alva
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2015

1. Estrutura de concreto 2. Sustentabilidade 3. Avaliação do Ciclo de Vida 4. Custo do Ciclo de Vida I. Isaia, Geraldo Cechella II. Alva, Gerson Moacyr Sisniegas III. Título.

© 2015

Todos os direitos autorais reservados a Raquel Petry Brondani. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.
E-mail: raquelbrondani@gmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E DO CUSTO DE UMA
EDIFICAÇÃO DE CONCRETO ESTRUTURAL COM DIFERENTES
TRAÇOS: ESTUDO DO BERÇO AO PORTÃO**

elaborada por
Raquel Petry Brondani

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA:

Geraldo Cechella Isaia, Dr.
(Presidente/Orientador)

Giane de Campos Grigoletti, Dr^a. (UFSM)

Mauricio Mancio, Dr. (UNISINOS)

Santa Maria, 25 de junho de 2015.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, princípio de tudo, pela vida, pela oportunidade e pela força concedidas para a conclusão de mais este sonho.

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e ao Laboratório de Materiais de Construção Civil, pela estrutura disponibilizada e por possibilitarem a realização desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pela bolsa de mestrado a mim concedida.

Ao meu orientador Professor Geraldo Cechella Isaia, pelos conhecimentos transmitidos, pela incansável disponibilidade, paciência e motivação ao longo desta caminhada.

Ao meu coorientador Professor Gerson Moacyr Sisniegas Alva, pela também disponibilidade e atenção sempre que necessitei.

Aos Professores Giene de Campos Grigoletti e Mauricio Mancio, pelo aceite ao convite de composição da banca examinadora.

À minha amada família, especialmente aos meus pais, Loriane e Lecir, e à minha irmã, Renata, pelo apoio incondicional, incentivo e carinho ao longo da minha vida e dos meus estudos.

Ao meu amado noivo Rafael, por compartilhar comigo o processo de desenvolvimento de sua própria dissertação, pelo amor e pela paciente compreensão de minhas inúmeras ausências ao longo da elaboração deste trabalho.

À Marília, secretária do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, e à Marta da Biblioteca Setorial do Centro de Tecnologia, pela presteza sempre que necessitei.

Aos colegas e aos amigos conquistados no mestrado, especialmente à Aline, ao Lucas, à Poliana, à Ana e ao Ronei.

Aos demais que, direta ou indiretamente, contribuíram para esta pesquisa.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E DO CUSTO DE UMA EDIFICAÇÃO DE CONCRETO ESTRUTURAL COM DIFERENTES TRAÇOS: ESTUDO DO BERÇO AO PORTÃO

AUTORA: RAQUEL PETRY BRONDANI

ORIENTADOR: GERALDO CECHELLA ISAIA

COORIENTADOR: GERSON MOACYR SISNIEGAS ALVA

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 25 de junho de 2015.

O concreto destaca-se por seu elevado consumo e empregabilidade na construção civil à qual são associados diversos impactos ambientais, evidenciando-se a necessidade de adoção de soluções técnicas ambientalmente sustentáveis considerando-se a factibilidade em relação aos custos. Sob esse aspecto, o presente estudo de caso objetiva a análise da sustentabilidade de uma edificação de concreto estrutural executável na cidade de Santa Maria – RS com a integração de aspectos ambientais e econômicos. A edificação foi dimensionada para dois níveis de resistência à compressão do concreto, 30 e 50 MPa, e foram considerados dois tipos de cimento, cimento Portland composto (CP II-Z 32) e cimento Portland pozolânico (CP IV 32), definindo, experimentalmente, os quatro traços: II30, IV30, II50 e IV50. Com base nos quantitativos de materiais, procedeu-se a Avaliação do Ciclo de Vida para quantificação dos impactos ambientais e o Custo do Ciclo de Vida para estimativa dos custos iniciais associados, com abordagem do berço ao portão. Foram contempladas as etapas de obtenção dos insumos, produção do concreto e execução da estrutura, para a edificação como um todo e por elemento estrutural. Da análise unitária de impactos e custos, a qual se mostrou mais expressiva, concluiu-se que o aumento da resistência do concreto de 30 para 50 MPa é favorável à sustentabilidade, assim como o emprego de cimento CP IV, embora com pequenos benefícios em relação ao CP II-Z. Por sua vez, dentre os elementos estruturais, as lajes destacaram-se pelo melhor desempenho, seguidas pelas escadas, vigas e pilares. Comparativamente, a análise global sugere que a melhor alternativa é dada pelo traço IV50.

Palavras-chave: Estrutura de concreto. Sustentabilidade. Avaliação do Ciclo de Vida. Custo do Ciclo de Vida.

ABSTRACT

Master's Degree Dissertation
Postgraduate Program in Civil Engineering
Federal University of Santa Maria

LIFE CYCLE ASSESSMENT AND COST OF A STRUCTURAL CONCRETE BUILDING WITH DIFFERENT MIXTURES: A CRADLE- TO-GATE STUDY

AUTHOR: RAQUEL PETRY BRONDANI

ADVISOR: GERALDO CECHELLA ISAIA

CO-ADVISOR: GERSON MOACYR SISNIEGAS ALVA

Defense Place and Date: Santa Maria, June 25th, 2015.

Consumption and employability of concrete are widely recognized in the construction sector which is related to many environmental impacts. In this context, technical solutions that associate environmental sustainability and cost feasibility are needed. This case study aims to evaluate the sustainability of a structural concrete building executable in Santa Maria – RS integrating environmental and economic aspects. The concrete building was designed with two levels of compressive strength, 30 and 50 MPa, and two types of Portland cement, pozzolanic compound (CP II-Z) and pozzolanic (CP IV) were used, which experimentally originate four mixtures: II30, IV30, II50 and IV50. Considering the materials consumption, the Life Cycle Assessment was used to quantify the environmental impacts and the Life Cycle Cost to measure the associated initial cost, with a cradle-to-gate approach. The acquisition of raw materials, the production of concrete and the execution of the structure were considered for the building as a whole and as structural elements. The unitary analysis was the most expressive in order to present the results and it turns out that the increase of the concrete strength from 30 to 50 MPa favored the building sustainability. Differences between the results were more meaningful varying the f_{ck} than the cement type, with a slight preference for the CPIV one. Among the structural elements, the slabs offered the best performance, followed by stairs, beams and pillars. In addition, an overall analysis also suggests that the best alternative is the IV50 mixture.

Key-words: Structural concrete building. Sustainability. Life Cycle Assessment. Life Cycle Cost.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de sustentabilidade	33
Figura 2 – Concentração média mundial de gases do efeito estufa	36
Figura 3 – Distribuição percentual da geração de gases do efeito estufa na produção de cimento	37
Figura 4 – Cadeias produtivas da construção civil	40
Figura 5 – Volumes de clínquer por tipo de forno (%) – panorama mundial	47
Figura 6 – Consumo de energia térmica (milhões de GJ) – panorama brasileiro	48
Figura 7 – Fluxo de materiais e geração de resíduos.....	50
Figura 8 – Etapas da Avaliação do Ciclo de Vida.....	58
Figura 9 – Principais elementos do Custo do Ciclo de Vida	70
Figura 10 – Modelo conceitual de Custos do Ciclo de Vida.....	71
Figura 11 – Modelo tridimensional da edificação.....	75
Figura 12 – Composição granulométrica dos cimentos CP II-Z e CP IV.....	83
Figura 13 – Composição granulométrica do agregado miúdo	87
Figura 14 – Composição granulométrica do agregado graúdo	87
Figura 15 – Curvas de Abrams	91
Figura 16 – Sistema relacionado à edificação de concreto armado.....	94
Figura 17 – Mudanças climáticas por traço de concreto da edificação	104
Figura 18 – Uso de recursos naturais por traço de concreto da edificação	106
Figura 19 – Consumo de energia por traço de concreto da edificação	107
Figura 20 – Geração de resíduos por traço de concreto da edificação.....	108
Figura 21 – Consumo de água por traço de concreto da edificação	109
Figura 22 – Impactos ambientais individuais por traço de concreto da edificação..	111
Figura 23 – Impactos ambientais individuais unitários por traço de concreto da edificação.....	112
Figura 24 – Pegada de carbono por traço de concreto da edificação	114
Figura 25 – Pegada de carbono unitária por traço de concreto da edificação	115
Figura 26 – Impactos ambientais totais por traço de concreto da edificação.....	116
Figura 27 – Impactos ambientais totais unitários por traço de concreto da edificação	118
Figura 28 – Impactos ambientais totais por traço de concreto dos elementos estruturais	121
Figura 29 – Impactos ambientais totais unitários por traço de concreto dos elementos estruturais	122
Figura 30 – Custos iniciais por traço de concreto da edificação	124
Figura 31 – Custos iniciais unitários por traço de concreto da edificação	125
Figura 32 – Custos iniciais por traço de concreto dos elementos estruturais	127
Figura 33 – Custos iniciais unitários por traço de concreto dos elementos estruturais	128
Figura 34 – Índices globais por traço de concreto da edificação	131
Figura 35 – Índices globais por traço de concreto dos elementos estruturais.....	135

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de cimentos e teores de substituição	42
Tabela 2 – Produção de cimento Portland (em toneladas) – ano referência 2013....	42
Tabela 3 – Energia incorporada aos materiais de construção	46
Tabela 4 – Carregamentos acidentais.....	77
Tabela 5 – Deslocamentos horizontais	80
Tabela 6 – Coeficientes γ_z	80
Tabela 7 – Consumos de materiais por nível de resistência para a edificação.....	81
Tabela 8 – Dimensões médias e dimensões equivalentes a 10 e 90% de partículas passantes	84
Tabela 9 – Caracterização química dos cimentos CP II-Z e CP IV.....	84
Tabela 10 – Caracterização física e mecânica dos cimentos CP II-Z e CP IV	85
Tabela 11 – Caracterização física dos agregados miúdo e graúdo	88
Tabela 12 – Caracterização dos aditivos plastificante e superplastificante.....	89
Tabela 13 – Traços de concreto e resistências médias à compressão aos 28 dias..	91
Tabela 14 – Traços unitários de concreto definitivos e consumos de cimento	92
Tabela 15 – Consumos de materiais por m ³	92
Tabela 16 – Fatores de equivalência para cálculo do CO _{2eq}	99
Tabela 17 – Impactos ambientais individuais médios e coeficientes de variação da edificação.....	111
Tabela 18 – Impactos ambientais individuais unitários médios e coeficientes de variação da edificação	112
Tabela 19 – Contribuições percentuais dos materiais nos impactos ambientais totais por traço de concreto da edificação	119
Tabela 20 – Impactos ambientais totais médios e coeficientes de variação dos elementos estruturais.....	121
Tabela 21 – Impactos ambientais totais unitários médios e coeficientes de variação dos elementos estruturais	122
Tabela 22 – Contribuições percentuais dos materiais nos custos iniciais por traço de concreto da edificação	126
Tabela 23 – Custos iniciais médios e coeficientes de variação dos elementos estruturais.....	128
Tabela 24 – Custos iniciais unitários médios e coeficientes de variação dos elementos estruturais.....	129
Tabela 25 – Índices unitários e médias geométricas por traço de concreto da edificação.....	130
Tabela 26 – Índices unitários e médias geométricas por traço de concreto dos elementos estruturais.....	134

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Impactos ambientais.....	34
Quadro 2 – Principais produtos e fontes geradoras de resíduos	51
Quadro 3 – Exemplos de componentes de pegada hídrica	54
Quadro 4 – Comparativo entre Avaliação do Ciclo de Vida e Custo do Ciclo de Vida	73

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Plantas baixas.....	157
Apêndice B – Quantitativos de concreto, aço e formas	161
Apêndice C – Plantas de formas	167
Apêndice D – Dados de entrada no <i>software</i> SimaPro.....	169
Apêndice E – Inventários	177
Apêndice F – Planilhas de custos unitários e Custo do Ciclo de Vida	211

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
1.1 Justificativa	22
1.2 Objetivos	26
1.2.1 Objetivo geral	26
1.2.2 Objetivos específicos	26
2 SUSTENTABILIDADE	27
2.1 Sustentabilidade na Construção Civil	27
2.2 Sustentabilidade na etapa de projeto	30
2.3 Impactos ambientais	33
2.3.1 Mudanças climáticas	35
2.3.2 Uso de recursos naturais	39
2.3.3 Consumo de energia	45
2.3.4 Geração de resíduos	49
2.3.5 Consumo de água	53
2.4 Avaliação do Ciclo de Vida	56
2.4.1 Definição de Objetivo e Escopo	59
2.4.2 Análise de Inventário do Ciclo de Vida	60
2.4.3 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida	61
2.4.4 Interpretação do Ciclo de Vida	63
2.4.5 Avaliação do Ciclo de Vida na Construção Civil	64
2.5 Custo do Ciclo de Vida	69
3 MÉTODO DE PESQUISA	75
3.1 Descrição da edificação	75
3.2 Projeto estrutural	76
3.2.1 Caracterização das ações	77
3.2.2 Parâmetros normativos para o concreto	78
3.2.3 Análise e dimensionamento estrutural	79
3.3 Concreto – materiais e dosagem	82
3.3.1 Materiais cimentícios	82
3.3.2 Agregados	85
3.3.3 Aditivos químicos redutores de água	88
3.3.4 Concreto	89
3.4 Avaliação do Ciclo de Vida	92
3.4.1 Definição de Objetivo e Escopo	93
3.4.2 Análise de Inventário do Ciclo de Vida	95
3.4.3 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida	97
3.4.4 Interpretação do Ciclo de Vida	98
3.5 Custo do Ciclo de Vida	100
3.6 Análise integrada de sustentabilidade e de custo	101
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	103
4.1 Avaliação do Ciclo de Vida	103
4.1.1 Impactos ambientais individuais	103
4.1.1.1 Mudanças climáticas	104
4.1.1.2 Uso de recursos naturais	105
4.1.1.3 Consumo de energia	106
4.1.1.4 Geração de resíduos	108

4.1.1.5 Consumo de água	109
4.1.1.6 Análise integrada dos impactos ambientais individuais.....	110
4.1.1.7 Pegada de carbono	113
4.1.2 Impactos ambientais totais	115
4.1.2.1 Impactos ambientais totais da edificação.....	116
4.1.2.2 Impactos ambientais totais dos elementos estruturais	120
4.2 Custo do Ciclo de Vida	123
4.2.1 Custos da edificação.....	124
4.2.2 Custos dos elementos estruturais	127
4.3 Análise integrada de sustentabilidade e de custo	130
4.3.1 Análise integrada da edificação	130
4.3.2 Análise integrada dos elementos estruturais	134
5 CONCLUSÕES	137
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	141
APÊNDICES	155

1 INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, o setor da construção civil é associado a diversos impactos ambientais danosos à atmosfera, aos recursos hídricos e ao solo em decorrência da ação antrópica ao longo das etapas de extração de matérias-primas, processamento de insumos, transporte, utilização e disposição final dos resíduos.

Contudo, em sua atual conjuntura, já se percebe a busca pela sustentabilidade na construção civil quando do emprego de soluções ideais que associem desempenho técnico adequado a baixo impacto ambiental, considerando-se a factibilidade no quesito custo. Dessa maneira, tem-se melhor proveito dos recursos humanos, materiais, temporais e econômicos com redução de perdas evitáveis ao longo das diversas etapas que compõem o processo produtivo.

As soluções técnicas perpassam por definições que se iniciam ainda na etapa de projeto, a exemplo da resistência característica à compressão do concreto, a ser especificada pelo engenheiro estrutural quando do dimensionamento dos elementos estruturais em conformidade a requisitos normativos. Na etapa de execução, a escolha dos materiais e o seu proporcionamento também impactam no meio ambiente, bem como a posterior utilização da edificação, as manutenções preventivas e corretivas e, ao término da vida útil, a sua destinação final.

Diante do acima exposto, como forma de análise comparativa da sustentabilidade pelo impacto ambiental completo de um produto ou de um processo, destaca-se a ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV, no inglês, *Life Cycle Assessment* – LCA). De acordo com a norma NBR ISO 14040 (ABNT, 2014b, p. 2), ACV pode ser definida por “compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida”. Para tanto, é necessária a definição de uma unidade funcional para compatibilizar os fluxos de uma dada unidade de processo, o que constituirá a referência para os estudos subsequentes, viabilizando comparações entre as soluções tecnológicas com base em um critério comum de análise.

De maneira complementar à avaliação dos impactos ambientais, destaca-se o Custo do Ciclo de Vida (CCV, no inglês, *Life Cycle Cost* - LCC), o qual aborda o viés econômico das alternativas analisadas. De acordo com Mearig, Coffee e Morgan

(1999), CCV consiste em um processo de contabilização dos custos de execução, operação, manutenção e disposição final de um sistema construtivo, composto por três variáveis: custo propriamente dito, tempo de análise e taxa de desconto para igualar custos futuros a custos atuais.

Estudos com base na ACV e no CCV permitem, portanto, a determinação da solução de melhor relação custo financeiro – benefício ambiental dentre as opções disponíveis.

A presente pesquisa tem caráter sequencial às dissertações de mestrado de Silva, A. (2014) e Lamberti (2015) que se dedicaram ao estudo de um pilar isoladamente. Silva, A. (2014) com a consideração de uma abordagem do berço ao portão e Lamberti (2015) do berço ao túmulo, incluindo o fenômeno de carbonatação. Pretende-se, com este trabalho, uma avaliação da sustentabilidade valendo-se de uma análise macro ao considerar como unidade funcional a superestrutura de uma edificação em concreto armado composta por um conjunto de elementos estruturais: vigas, pilares, lajes e escadas. Para tanto, foram considerados quatro traços de concreto, variando-se os níveis de resistência à compressão do concreto e os tipos de cimento com considerações de ACV e CCV e abordagem do berço ao portão de obra.

A escolha por esse tema destaca, portanto, a necessidade de aprofundamento de conhecimentos por intermédio de um estudo completo como forma de suporte à tomada de decisão com base em critérios de impactos ambientais e de custos econômicos.

1.1 Justificativa

Compondo-se um breve panorama histórico, de acordo com Isaia (2011a), os gregos desenvolveram estruturas de grandes obras utilizando, principalmente, pedras de cantaria precisamente cortadas compondo sistemas de colunas e vigas. Por sua vez, os romanos já dispunham de conhecimentos intuitivos acerca de estruturas de concreto simples, cientes de seu bom desempenho frente aos esforços de compressão. Em 1824, o cimento Portland foi descoberto oficialmente por Joseph Aspdin quando da queima de calcário e de argila finamente moídos, seguida por

calcinação da mistura e nova moagem, sendo o pó resultante denominado cimento Portland. Em 1845, creditou-se a Lambot a primeira utilização conjunta de concreto e armadura para a confecção de um barco e, em 1855, Monier aplicou esses conhecimentos, primeiramente, para a construção de caixotes e de vasos de plantas e, na sequência, para a construção de pontes de concreto armado. A utilização conjugada concreto-aço conferiu a capacidade de suportar esforços de tração e compressão concomitantemente e, como consequência, salienta o autor, verificou-se a construção de estruturas com vãos maiores e a difusão universal do concreto armado, colocando-o em posição de destaque no consumo em relação aos demais materiais de construção civil.

Atualmente, o concreto figura como o material estrutural mais amplamente utilizado na construção civil. Tamaña empregabilidade justifica-se pela boa resistência frente à ação da água, pela facilidade de moldagem em diversas formas e tamanhos das peças estruturais e pelo custo relativamente baixo, associado à boa disponibilidade de obtenção (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Traçando-se um paralelo, de acordo com o *World Business Council for Sustainable Development* e a *International Energy Agency* (WBCSD; IEA, 2009), o consumo de concreto pela sociedade é apenas menor que o de água em termos de volumes anuais, o que evidencia sua notória importância nas construções em geral.

Em decorrência da elevada demanda por matérias-primas e energia, Kenai, Menadi e Khatib (2014) afirmam que a indústria da construção civil constitui a peça chave no combate aos impactos ambientais. O relatório publicado pela *United Nations Environment Programme – Sustainable Buildings & Climate Initiative* (UNEP-SBCI, 2009) apresenta o setor da construção civil como o responsável por cerca de 30% das emissões anuais de gases do efeito estufa e 40% de toda a energia consumida, sendo estimado que as emissões de gases do efeito estufa mais que dupliquem no período compreendido pelos próximos vinte anos.

Hammond e Jones (2011) apontam dados de diferentes materiais de construção, sendo que o concreto e o cimento apresentam, comparativamente aos demais, uma quantidade relativamente baixa de energia incorporada à produção e, conseqüentemente, baixo CO₂ emanado por quilograma de material produzido. No entanto, Barcelo et al. (2014) destacam o efeito de escala decorrente da elevada demanda de produção e consumo de concreto, capaz de majorar os impactos

gerados, o que é corroborado por Mehta e Monteiro (2014) que quantificam o consumo anual de concreto no mundo em 19 bilhões de toneladas métricas.

Abordando especificamente a fabricação de cimento, constituinte essencial dos concretos, Baumert, Herzog e Pershing (2005) salientam que o material é responsável por, aproximadamente, 3,8% das emissões globais de gases do efeito estufa e, em termos de CO₂ gerado pela ação antrópica, *The European Cement Association* (CEMBUREAU, 2013) atribui ao cimento 5% do montante gerado. Em relação ao CO₂ emanado, os maiores percentuais da cadeia produtiva do cimento são oriundos da etapa de calcinação (ROSKOVIC; BJEGOVIC, 2005). Entretanto, a calcinação é inerente ao processo de obtenção de óxido de cálcio (CaO) para a formulação do clínquer, de maneira que, para a mitigação do impacto ambiental associado, faz-se necessária a redução no consumo de clínquer e, conseqüentemente, de cimento, a partir de uma reestruturação de processos de projeto, produção e execução. Medidas essas a serem adotadas também para os demais insumos da construção civil com base nos princípios de sustentabilidade.

Com vistas à mitigação dos efeitos danosos ao meio ambiente oriundos da produção do cimento e da construção civil em geral, devem-se buscar alternativas, o que, de acordo com CEMBUREAU (2013), pode se dar com maior eficiência no uso dos recursos naturais por substituição de matérias-primas, como o clínquer por pozolanas, por exemplo, maiores eficiências energéticas elétrica e térmica, sequestro de carbono e posterior reuso, eficiência na etapa de produção, construções inteligentes e sustentáveis, ou, ainda, em etapas posteriores, a exemplo da reciclagem do concreto. A publicação também destaca que não há uma simples solução ou tecnologia capaz de revolucionar o atual panorama, fazendo-se necessária a combinação de processos, tecnologias e investimentos para tal.

Segundo Agopyan e John (2011), os impactos ambientais provenientes das atividades da construção são decorrentes de uma série de etapas: extração de matérias-primas, produção de materiais, projetos, execução, uso, manutenção, demolição e desmontagem ao término da vida útil da edificação e, por fim, destinação final dos resíduos gerados ao longo das etapas precedentes. Dessa maneira, os autores ressaltam a necessidade de uma visão sistêmica na busca pela sustentabilidade no setor, com revisão de procedimentos responsáveis pelos elevados consumos de materiais, de água e de energia e pela geração de resíduos e de gases de efeito estufa.

Dessa forma, evidencia-se a importância de análises prévias para que os fatores que também estejam sob o domínio do engenheiro possam ser utilizados em prol do meio ambiente, contribuindo para o desenvolvimento sustentável. Quando das etapas iniciais de elaboração de um projeto, normalmente depara-se com uma gama de soluções tecnológicas, cada qual com suas vantagens e desvantagens. Frequentemente, a escolha pela alternativa ideal se dá com base em critérios empíricos e conhecimentos prévios, sem a devida análise técnica. Agopyan e John (2011) corroboram essa afirmação ao salientar que as definições de projeto, detalhes arquitetônicos e especificação de materiais e componentes também interferem no consumo de recursos naturais e energéticos, assim como as condições de execução da edificação voltada à otimização.

Por este viés, uma importante metodologia a ser estudada é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), capaz de avaliar todas as fases de um produto ou de um processo, do berço ao túmulo, desde a obtenção de matérias-primas até a deposição dos resíduos, considerando-se os estágios intermediários interdependentes entre si, na medida em que uma etapa conduz à seguinte. Assim sendo, podem-se estimar os impactos ambientais de forma cumulativa ao longo do ciclo de vida do elemento analisado, fornecendo-se um panorama bastante abrangente dos aspectos associados para a tomada de decisão (CURRAN, 2006). Para tal, tem-se a série de normas ISO 14000, as quais fornecem diretrizes para a gestão ambiental, com destaque às normas direcionadas à avaliação do desempenho ambiental com base em estudos de ACV.

Como análise paralela, destaca-se o Custo do Ciclo de Vida (CCV), indicador econômico auxiliar à ACV, uma vez que a aplicabilidade de uma alternativa tecnológica perpassa pelo seu custo acessível. A esse respeito, Val e Stewart (2003) afirmam que, ao quantificar em termos monetários todos os atributos e as consequências de uma dada concepção estrutural, tem-se por solução ótima aquela capaz de minimizar seu custo de vida.

De posse dessas ponderações e com base em indicadores previamente definidos, pode-se, por fim, definir, de forma comparativa, a solução tecnológica mais sustentável para o elemento ou produto em análise.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O presente estudo de caso objetiva analisar a sustentabilidade de uma edificação de concreto estrutural pela integração de aspectos ambientais da Avaliação do Ciclo de Vida e econômicos do Custo do Ciclo de Vida para duas resistências características à compressão axial do concreto e dois tipos de cimento, contemplando as etapas de obtenção de matérias-primas, processamento, transporte e execução da estrutura, do berço ao portão de obra.

1.2.2 Objetivos específicos

A presente pesquisa tem por objetivos específicos:

- i. estimar o consumo de concreto e seus insumos, de aço e de formas necessários à execução da superestrutura da edificação a partir do projeto estrutural para duas resistências características do concreto, f_{ck} 30 e 50 MPa, e de dois tipos de cimento, Portland composto (CP II-Z 32) e Portland pozolânico (CP IV 32);
- ii. definir o traço de concreto e o elemento estrutural de menores impactos ambientais potenciais de acordo com a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida modular e total e de menor pegada de carbono;
- iii. definir o traço de concreto e o elemento estrutural de menores custos econômicos iniciais de acordo com a metodologia de Custo do Ciclo de Vida;
- iv. determinar a alternativa de melhor relação custo financeiro – benefício ambiental pela integração do Custo do Ciclo de Vida e da Avaliação do Ciclo de Vida para a edificação como um todo e para os elementos estruturais.

2 SUSTENTABILIDADE

Neste capítulo, apresenta-se uma revisão bibliográfica capaz de fundamentar a presente pesquisa, iniciando-se por uma abordagem acerca da sustentabilidade na construção civil, seguida pela sustentabilidade na etapa de projeto. Na sequência, são apresentados os impactos ambientais, com destaque aos cinco impactos principais para a construção civil: mudanças climáticas, uso de recursos naturais, consumo de energia, geração de resíduos e consumo de água. O referencial teórico contempla, também, a Avaliação do Ciclo de Vida com suas etapas de Definição de Objetivo e Escopo, Análise de Inventário do Ciclo de Vida, Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida e Interpretação do Ciclo de Vida, além de um enfoque à Avaliação do Ciclo de Vida na Construção Civil. Por fim, apresenta-se a fundamentação teórica que baliza as análises do Custo do Ciclo de Vida.

2.1 Sustentabilidade na Construção Civil

A partir da década de 1980, quando da publicação do Relatório *Brundtland* denominado *Our Common Future* pela *World Commission on Environment and Development* (WCED, 1987), as questões referentes à sustentabilidade obtiveram maior projeção. No referido relatório, atentou-se à necessidade de gestão ambiental dos recursos naturais, conduzindo ao conceito de desenvolvimento sustentável em que se objetiva o atendimento das necessidades presentes de forma racional, assegurando-se a satisfação das demandas das gerações vindouras. De acordo com Kenai, Menadi e Khatib (2014), o desenvolvimento sustentável engloba os impactos gerados ao meio ambiente e à sociedade na medida em que são demandados matérias-primas, água e demais recursos naturais para a satisfação das necessidades populacionais. Contudo, são estabelecidas limitações de emissões de gases do efeito estufa e exigências de conservação de recursos, de forma a não comprometer as futuras gerações e o ambiente natural.

Conforme *The International Council for Research and Innovation in Building and Construction* e *United Nations Environment Programme - International Environmental Technology Centre* (CIB; UNEP-IETC, 2002), como consequência da busca pela sustentabilidade, em 1992, foi publicada a Agenda 21, como um projeto internacional para o desenvolvimento sustentável extensivo a todos os setores da sociedade. Na sequência, em 1996, elaborou-se a Agenda *Habitat*, a qual diz respeito especificamente ao desenvolvimento sustentável atrelado à ocupação humana.

A publicação de CIB e UNEP-IETC (2002) destaca também que a indústria da construção civil e suas atividades correlatas, responsáveis por grandes consumos de recursos naturais e consequentes impactos ambientais associados, fizeram culminar, em 1999, na internacionalmente conhecida Agenda 21 para a Construção Sustentável, pelo CIB. No entanto, verificou-se que a abordagem da sustentabilidade nos países desenvolvidos e nos países em desenvolvimento deveria se dar de forma distinta, posto que os problemas e limitações, bem como as competências e potencialidades de desenvolvimento são notoriamente distintas. Logo, para atender a essa disparidade, foi desenvolvida a Agenda 21 para a Construção Sustentável nos Países em Desenvolvimento, projeto realizado em parceria entre CIB, UNEP-IETC, *CSIR Building and Construction Technology* e *Construction Industry Development Board of South Africa*.

A Resolução 60/1 da *United Nations* (UN, 2005) reafirmou o compromisso com o desenvolvimento sustentável, com base nas premissas da Agenda 21. Na publicação, são explicitados os três pilares fundamentais para o desenvolvimento sustentável: desenvolvimento econômico, desenvolvimento social e proteção ambiental, de forma a considerar-se a interdependência e o reforço mútuo entre eles. Agopyan e Jonh (2011) destacam a complexidade e a amplitude das questões referentes à sustentabilidade a partir da integração entre esses três aspectos: o desafio engloba a melhoria da qualidade de vida da população com minimização dos impactos ambientais, valendo-se de soluções economicamente viáveis e satisfatórias do ponto de vista da sociedade.

A publicação de CIB e UNEP-IETC (2002) revela ainda que o desenvolvimento sustentável e as construções requerem ações conjuntas das partes envolvidas na concepção e no uso das edificações. Essa perspectiva engloba demanda dos clientes por construções sustentáveis, profissionais aptos a adotar

práticas sustentáveis nos empreendimentos, processos industriais ambientalmente menos agressivos e políticas governamentais de incentivo e capacitação para a sustentabilidade. No ambiente acadêmico, evidencia-se a necessidade de engajamento à proposta por parte dos educadores para a plena formação de profissionais comprometidos com princípios sustentáveis. O documento ainda destaca a importância de uma visão holística para a construção sob a perspectiva do ciclo de vida previsto. Devem-se buscar projetos orientados por diretrizes de sustentabilidade, avaliar procedimentos de operação e manutenção das edificações, além de selecionar materiais e componentes cuja produção e utilização se deem de acordo com os requisitos ambientais impostos.

De acordo com MacAskill e Guthrie (2013), a avaliação da sustentabilidade apresenta crescente empregabilidade sob o viés comparativo e sob a ótica da classificação do desempenho de produtos. Nagalli (2012), por sua vez, alerta para a questão dos custos, salientando que, inicialmente, uma edificação sustentável pode requerer maiores investimentos para sua idealização e construção se comparada a uma obra convencional. Contudo, a tendência é que esses custos sejam compensados ao longo da vida útil. O autor ainda evidencia a existência de diversos processos construtivos insustentáveis adotados pela indústria de construção civil brasileira, os quais são mantidos por estarem já consolidados e apresentarem custos de implantação menores em relação a novos sistemas.

Afirma Kibert (1994) que, quando da não consideração de questões relativas à sustentabilidade, a concepção de uma estrutura se dá com base em três aspectos fundamentais: desempenho, qualidade e custo. No entanto, quando da abordagem de critérios de sustentabilidade para materiais de construção, produtos e sistemas, questões adicionais referentes aos impactos ambientais são ponderadas, tais como o esgotamento de recursos, a degradação do meio ambiente e a preocupação com a sua manutenção. Tem-se, dessa forma, uma análise mais completa, em que a escolha pela solução tecnológica ideal fundamenta-se, inclusive, em requisitos ambientais. O autor propõe seis princípios para uma construção sustentável, a seguir listados e brevemente descritos:

- conservação – minimização do consumo de recursos naturais;
- reuso – maximização da reutilização de recursos naturais;
- reciclagem – utilização de recursos reciclados;
- proteção – proteção do meio ambiente;

- produtos – emprego de produtos menos agressivos ao meio ambiente;
- qualidade – busca por qualidade no ambiente construído.

Com base nesses princípios, a construção civil pode engajar-se na busca por alternativas de menores impactos ambientais, considerando-se o contexto da sustentabilidade. Ponderações iniciais devem ser feitas ainda na etapa de projeto, foco do subitem a seguir. Na sequência, apresenta-se uma revisão bibliográfica acerca dos impactos ambientais principais relacionados ao setor.

2.2 Sustentabilidade na etapa de projeto

Uma estrutura sustentável não requer, simplesmente, os materiais mais sustentáveis, é necessária a previsão do uso dos materiais selecionados de forma otimizada ainda na etapa de projeto. Além disso, um engenheiro de estruturas sustentáveis precisa ser um engenheiro estrutural com visão holística, isto é, um profissional capaz de considerar os múltiplos aspectos relacionados a um projeto de edificação (WEISENBERGER, 2011).

De acordo com Melhado (1994), as questões referentes à sustentabilidade podem ser aplicadas a quaisquer métodos ou sistemas construtivos. Contudo, destaca-se a relevância da etapa de projeto por ser a que contém maiores definições em nível de dimensionamento, especificações e demais detalhes estruturais.

Para fins de sustentabilidade, *The Building Services Research and Information Association* (BSRIA, 1999) recomenda a integração de profissionais e demais partes interessadas na concepção da edificação, considerando-se aspectos referentes à própria edificação, seu entorno e seu ciclo de vida conjuntamente. De acordo com a referida organização, aos clientes compete a definição das necessidades de projeto e das prioridades com uma visão holística capaz de integrar custos, qualidade e impactos ambientais. Cabe à equipe de projeto a definição da melhor alternativa, integrando aspectos arquitetônicos, estruturais e estratégicos, também com consideração de custos e impactos ambientais. Quando da execução da edificação, deve-se buscar a minimização de desperdícios, resíduos e poluentes, atentando às definições previamente estabelecidas. Por fim, cabe aos ocupantes da

edificação sua utilização e gestão de forma sustentável, prezando por melhorias e pela qualidade do ambiente.

Como potenciais benefícios da integração do processo de projeto, BSRIA (1999) destaca:

- atendimento às necessidades do cliente, dos futuros usuários da edificação e do meio ambiente;
- projeto melhor elaborado em função da gama de soluções ponderadas;
- projeto e execução mais eficientes com identificação de diferentes possibilidades e condicionantes de projeto nas etapas iniciais;
- melhor desempenho da edificação e maior satisfação do usuário;
- soluções mais sustentáveis e holísticas.

Naik (2008) afirma que um projeto sustentável engloba a consideração das consequências ambientais do projeto tanto em curto quanto em longo prazo. Projetos sustentáveis precisam ser compreendidos como alternativas e melhorias em relação aos projetos tradicionais, o que se dá pela identificação dos impactos ambientais associados a cada alternativa de projeto. AlWaer e Kirk (2012) destacam que, além do projeto de edificações e demais elementos da infraestrutura urbana, a localização dos elementos, o consumo de materiais e de recursos energéticos para a construção, a utilização, a manutenção, bem como os resíduos gerados e as emissões resultantes impactam na sustentabilidade ambiental. Como medidas mitigadoras, sugerem os autores a utilização racional dos recursos ao longo de todas as etapas do ciclo de vida e a avaliação dos impactos das construções no ambiente construído considerando-se fases desde o projeto até a destinação dos resíduos.

Conforme Gagnon, Leduc e Savard (2012), os projetos voltados à sustentabilidade apresentam diferenciais básicos se comparados aos projetos convencionais, a citar-se: a estruturação do processo de projeto pela equipe de trabalho, a consideração de questões voltadas à sustentabilidade, a seleção de indicadores para a avaliação da sustentabilidade, a precisão das ferramentas utilizadas para a análise dos indicadores, a avaliação das possíveis melhorias comparando-se seu potencial às soluções convencionais e a escolha da solução final a ser implementada com base nos critérios anteriores.

Na etapa de projeto, a resistência mecânica à compressão é especificada pelo engenheiro estrutural no princípio das definições de análise e de dimensionamento dos elementos de lajes, vigas e pilares, sendo a resistência mínima à compressão função da agressividade do meio em que esses elementos estarão inseridos. De acordo com Mehta e Monteiro (2014), a resistência consiste na propriedade mais valorizada posto que as demais propriedades do concreto estão diretamente relacionadas à resistência, a qual pode ser verificada por intermédio de ensaios laboratoriais relativamente simples.

Afirmam Brondani, Mohamad e Isaia (2015) que o engenheiro é o profissional responsável pela definição de soluções de projeto que conciliem desempenho com menores consumos de materiais. A esse respeito, conforme Nakamura (2006), o aumento de resistência do concreto permite, para um mesmo carregamento atuante, menores dimensões dos elementos estruturais, o que representa ganho de espaço em decorrência da redução das seções, associado a menores consumos de aço para armaduras e aumento de durabilidade. A autora destaca que os pilares são os principais elementos beneficiados, posto que são submetidos predominantemente a esforços de compressão.

Nesse contexto, percebe-se uma forma de desmaterialização da construção civil ainda na etapa inicial de concepção estrutural o que, de acordo com Agopyan e John (2011), consiste na redução do consumo de materiais em termos de massa, do volume de resíduos gerados e dos impactos ambientais associados.

Portanto, com o aumento da resistência mecânica, pode-se reduzir a demanda por matérias-primas, uma das premissas da sustentabilidade. Sendo assim, percebe-se a importância da etapa de projeto na busca pela racionalização. Dessa forma, o desenvolvimento de projetos com foco na sustentabilidade requer a integração de diversos critérios técnicos previamente definidos, utilizando-se ferramentas que permitam a avaliação e a determinação da solução ótima para cada estrutura.

A consideração das questões referentes à sustentabilidade fundamenta-se nos três pilares da sustentabilidade, os quais podem ser dispostos em um diagrama, de forma que a interseção entre dois aspectos define uma metodologia para estudo, conforme apresentado na Figura 1. Os aspectos ambiental e social relacionam-se à metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida, na medida em que, na construção civil, devem-se executar edificações para o atendimento das necessidades da sociedade

com a preocupação com o meio ambiente, em panorama atual e para as gerações vindouras. Por sua vez, os aspectos social e econômico referem-se ao Custo do Ciclo de Vida, tendo-se em vista a importância do valor econômico no que diz respeito à factibilidade de uma certa solução e ao poder aquisitivo da sociedade em absorver determinada obra. Por fim, tem-se a valoração como a integração dos aspectos econômico e ambiental utilizada quando se pretende determinar o valor econômico aos bens ambientais em relação a outros bens e serviços (SILVA, A., 2014).

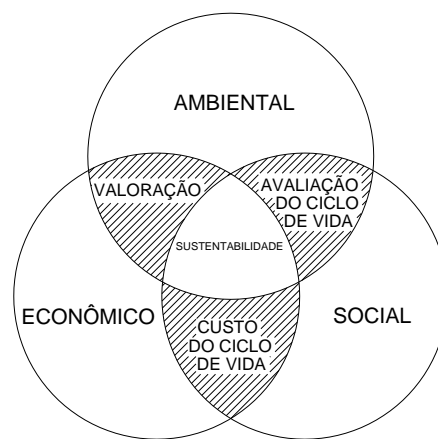


Figura 1 – Diagrama de sustentabilidade

Fonte: adaptado de Silva, A. (2014)

Dentre essas metodologias, destacam-se a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e o Custo do Ciclo de Vida (CCV), a seguir apresentados, por estarem definidos no objetivo do presente trabalho para as análises de sustentabilidade e de custos pretendidas. A metodologia da valoração não é abrangida pelo escopo da pesquisa.

2.3 Impactos ambientais

De acordo com a norma NBR ISO 14001 (ABNT, 2004), entende-se impacto ambiental como quaisquer modificações no meio ambiente, a exemplo de ar, água, solo, recursos naturais, flora, fauna, seres humanos e suas inter-relações, com

efeitos positivos ou negativos, que resultem de atividades, produtos ou serviços de uma dada organização.

Agopyan e John (2011) ressaltam que não há produto isento de impactos ambientais, sendo a magnitude variável conforme suas condições locais de projeto, execução, uso, manutenção e práticas adotadas após a vida útil da edificação. Sob esse aspecto, para fins de quantificação dos impactos ambientais, os autores destacam a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida, baseada nos fluxos de entrada (consumo) e saída (emissões) de materiais e energia associados a um produto, ao longo do ciclo de vida. Para tal, apresentam dez categorias de impactos ambientais, descritas no Quadro 1.

Impacto ambiental	Descrição
Mudanças climáticas	Emissões de gases como CO ₂ , CH ₄ , NO _x , HCFC que diminuem a capacidade de emissão de energia de onda longa do globo terrestre para o espaço, provocando aquecimento
Uso de recursos naturais	Consumo de reservas de produtos não renováveis ou exploração de produtos renováveis sem manejo ou acima da capacidade de recomposição
Consumo de energia	Categoria que analisa a eficiência no uso de energia bem como a contribuição para o esgotamento de fontes de energia não renováveis
Geração de resíduos	Acumulação de resíduos com risco de contaminação ambiental e desperdício de recursos naturais
Consumo de água	Consumo de água na atividade, contribuição para o stress hídrico da região e as consequências em capacidade de suporte de vida
Toxicidade	Emissão ou uso de produtos que possam significar risco à saúde humana ou à de outras espécies, como dioxinas, furanos, formaldeído, biocidas, metais pesados como o mercúrio
Destruição da camada de ozônio	Emissão de gases como os CFCs, halon, HCFC, tricloroetano, principalmente por fluídos de ar-condicionados e geladeiras
Poluição por nutrientes (eutrofização)	Contaminação do ambiente - especialmente de corpos de água - por elementos como fosfato, amônia, nitrogenados, fósforo, desequilibrando ecossistemas
Acidificação	Contaminação do solo, do ar e da água, por produtos ácidos (como SO _x), afetando animais, vegetação e até edifícios
Poluição do ar	Emissões de gases como SO _x , NO _x , material particulado, inclusive aqueles que podem levar a formação de smog fotoquímico. No caso do ambiente interno, emissões de compostos voláteis

Quadro 1 – Impactos ambientais

Fonte: adaptado de Agopyan e John (2011)

Contudo cabe ressaltar que, de acordo com o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS, 2014a), os impactos ambientais mais críticos vinculados ao setor da construção civil são os cinco primeiros apresentados no Quadro 1: mudanças climáticas, uso de recursos naturais, consumo de energia, geração de resíduos e consumo de água. Estrutura-se, assim, a metodologia

denominada Avaliação do Ciclo de Vida modular, ACV-m, caracterizada pelo menor grau de complexidade no levantamento dos dados por fundamentar-se somente nos aspectos ambientais mais relevantes. Metodologia essa a ser utilizada no presente trabalho de forma complementar à ACV tradicional.

A seguir, serão abordados sumariamente os principais impactos ambientais relacionados à construção civil, conforme a metodologia ACV-m.

2.3.1 Mudanças climáticas

A expressão mudanças climáticas pode ser entendida como a alteração de valores médios ou como a variabilidade de propriedades do clima ao longo de um período prolongado. As mudanças climáticas podem ser atribuídas a processos naturais internos, quando ocasionadas por alterações na dinâmica dos componentes da atmosfera, hidrosfera, criosfera, litosfera ou biosfera; e a forças externas, a exemplo de ciclos solares, erupções vulcânicas ou ação antrópica (*INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, IPCC, 2014*).

O relatório *Climate Change Science* publicado pelo *Committee on the Science of Climate Change* (2001) afirma que a variabilidade natural contribui para as mudanças climáticas, visto que o clima está continuamente em modificação em distintas escalas de tempo, desde as quatro estações do ano ao próprio tempo de existência do planeta Terra. Contudo, a referida publicação destaca que as atividades humanas são as principais responsáveis pelas mudanças climáticas que vem ocorrendo.

A principal evidência das mudanças climáticas se dá pela elevação das temperaturas, caracterizando o aquecimento global. Como é sabido, o efeito estufa consiste em um efeito natural que retém parte da radiação infravermelha emitida pelo Sol na superfície terrestre, permitindo a manutenção da vida. Contudo, de acordo com IPCC (2014), as emissões de gases do efeito estufa intensificaram-se desde a era pré-industrial em decorrência dos crescimentos econômico e populacional impulsionados, aumentando as concentrações atmosféricas de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), conforme apresentado na Figura 2, sendo suas concentrações expressas em *ppm* (partes por milhão) e *ppb*

(partes por bilhão). Dessa forma, seus efeitos culminaram em importantes impactos no clima, sendo a causa principal do aquecimento global do século XX.

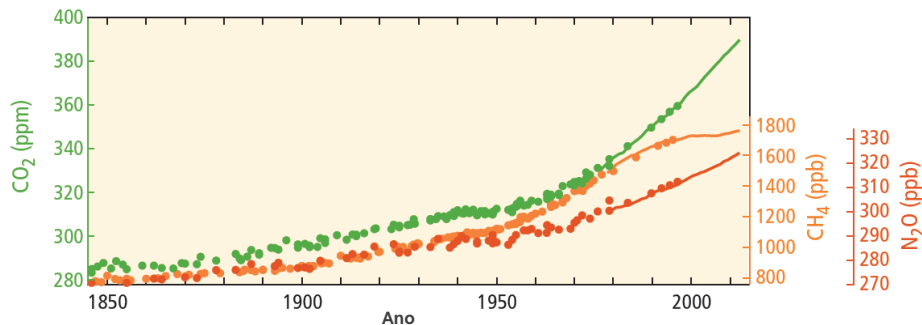


Figura 2 – Concentração média mundial de gases do efeito estufa

Fonte: adaptado de IPCC (2014)

Complementando as informações apresentadas, a publicação de IPCC (2014) ainda destaca que, desde 1850, expressivas mudanças climáticas tem sido verificadas, com destaque às três últimas décadas. A análise conjunta das temperaturas da superfície terrestre e dos oceanos indica um aquecimento de 0,85° C no período compreendido entre 1880 e 2012, reforçando as evidências de aquecimento global.

Por sua vez, Mehta e Monteiro (2014) elencam diversos efeitos decorrentes do aquecimento global, a citar-se: acentuação do derretimento das geleiras; elevação do nível do mar, ameaçando as populações costeiras; aumento do número e da intensidade de ondas de calor, secas, incêndios florestais, tempestades e furacões; alterações nas precipitações; quebra do ciclo de carbono em decorrência de alterações nas espécies botânicas terrestres e aquáticas. Nota-se, portanto, que as mudanças climáticas tendem a afetar os mais diversos setores econômicos, ambientais e também sociais, em diferentes proporções e consequências.

Sob esse aspecto, destaca-se o setor da construção civil, o qual contribui com 30% das emissões de gases de efeito estufa e, tendo-se em vista seu crescimento e seu atual panorama, a expectativa é que as emissões mais que dobrem nos próximos 20 anos (UNEP-SBCI, 2009). Dentre os gases de efeito estufa, Agopyan e John (2011) destacam as emissões de CO₂ na construção civil, salientando três aspectos principais: a produção de materiais de construção, a utilização das edificações e o transporte de materiais e resíduos. Em relação aos materiais de construção, os autores apresentam o uso de combustíveis fósseis na fabricação e

no transporte dos materiais, a decomposição do calcário e outros carbonatos na fase de calcinação e a extração de madeira nativa como as principais fontes de emissões de gases estufa.

Ao abordar especificamente o cimento, CEMBUREAU (2013) afirma que, considerando-se um panorama global de emissões, a sua produção é responsável por 5% das emissões de CO₂, sendo que, em média, para cada tonelada produzida, gera-se de 600 a 700 kg de CO₂. Em um panorama nacional, Battagin (2011) destaca parques industriais modernos em busca de melhor desempenho da cadeia produtiva frente às emissões de gases do efeito estufa, capazes de posicionar a indústria cimenteira brasileira entre as mais eficientes, com níveis de emissões de CO₂ por tonelada de cimento inferiores à média mundial.

O estudo realizado por Batelle e *World Business Council for Sustainable Development* (BATELLE; WBCSD, 2002) destaca o CO₂ como o principal gás do efeito estufa associado às mudanças climáticas, sendo o único emitido em quantidades expressivas pela indústria cimenteira. De acordo com essa pesquisa, na cadeia produtiva do cimento, cerca de metade dos gases do efeito estufa são oriundos do processo de descarbonatação, em que o calcário (CaCO₃) é convertido em óxido de cálcio (CaO), com a liberação de CO₂. Outra etapa responsável pela emissão de elevadas quantias dos gases refere-se à combustão de combustíveis no forno de clínquer e, minoritariamente, tem-se, ainda, as atividades de transporte e o consumo de energia elétrica associados à produção. A Figura 3 apresenta a contribuição percentual da geração de gases do efeito estufa associada a cada uma dessas etapas.

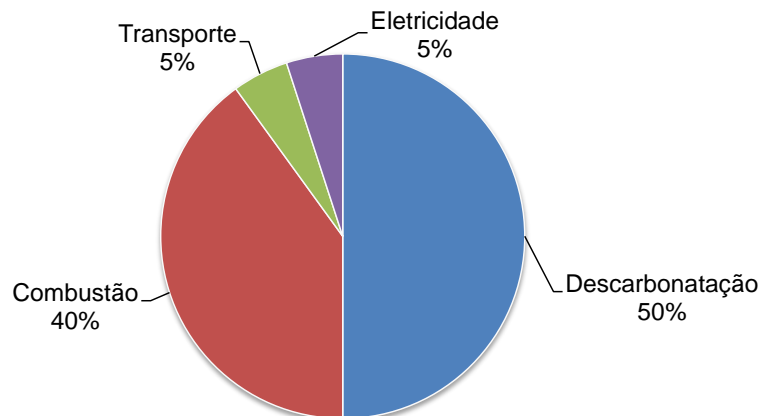


Figura 3 – Distribuição percentual da geração de gases do efeito estufa na produção de cimento

Fonte: adaptado de Batelle e WBCSD (2002)

Em relação aos aspectos anteriormente abordados, Battagin (2011) destaca que a parcela de CO₂ associada à descarbonatação do calcário não pode ser reduzida, posto que consiste em etapa indissociável à obtenção do clínquer. De acordo com o autor, a experiência brasileira e internacional revela que se pode trabalhar com medidas alternativas com vistas à mitigação dos gases do efeito estufa, a exemplo da eficiência energética a partir da modernização dos fornos a serem operados por via seca associados a pré-aquecedores e pré-calcinadores capazes de aquecer a matéria-prima e reduzir o consumo de combustíveis. Pode-se optar, também, pelo emprego de combustíveis alternativos, a exemplo da biomassa, e do coprocessamento como forma de aproveitamento de resíduos em substituição a combustíveis e matérias-primas. Battagin (2011) também comenta sobre a substituição parcial no cimento por escórias, pozolanas e filler calcário, de forma a reduzir a quantidade de clínquer e, conseqüentemente, o CO₂ liberado por tonelada de cimento produzido e, ainda, menciona medidas relativamente novas de aprisionamento de carbono no Brasil.

Quando na fase de utilização, tendo-se em vista que as edificações normalmente são projetadas para longas vidas úteis, as decisões tomadas em etapas iniciais impactarão nas emissões de gases do efeito estufa a médio prazo. Procedendo-se uma análise do ciclo de vida, conclui-se que mais de 80% das emissões de gases do efeito estufa são geradas durante a fase operacional das construções, ao ser demandada energia para aquecimento, refrigeração, ventilação, iluminação, utilização de eletrodomésticos, entre outras aplicações (UNEP-SBCI, 2009).

Agopyan e John (2011) reiteram essa afirmação ao destacarem que as emissões, basicamente CO₂, são influenciadas por aspectos locais específicos de cada edificação. Sob esse viés, os autores apontam como fatores relevantes os sistemas de condicionamento ambiental (associados a variações climáticas e a condições de renda dos usuários), as práticas construtivas adotadas, as condicionantes culturais e as próprias matrizes energéticas características de cada região e seus respectivos combustíveis empregados.

Quanto ao aspecto do transporte, destaca-se o modal rodoviário predominantemente utilizado no Brasil para o escoamento da produção o qual, em 2009, foi o responsável por 94% do cimento transportado. No referido ano, 8.000 caminhões circularam diariamente para distribuição dos cimentos das fábricas em

nível nacional, trafegando, em média, um raio de 300 a 500 quilômetros nas regiões Sul e Sudeste e até mais de 1.000 quilômetros no Norte e Nordeste. Tem-se ainda o transporte predominantemente rodoviário para demais insumos, a exemplo do aço, dos minérios e dos produtos agrícolas (BATTAGIN, 2011). Deslocamentos esses que requerem combustíveis fósseis, a exemplo do diesel, contribuindo, também, para a emissão de CO₂ à atmosfera.

Sob a ótica das mudanças climáticas, por fim, faz-se interessante a quantificação do impacto que as atividades humanas exercem no clima em função dos gases do efeito estufa produzidos ao longo do ciclo de vida de um determinado produto ou serviço, o que é denominado “pegada de carbono”, sendo expressa em termos de CO₂ equivalente (normalmente, toneladas de CO₂ equivalente) (HOEKSTRA, 2008). A pegada de carbono é calculada a partir de coeficientes de equivalência capazes de correlacionar os potenciais de aquecimento global de diferentes compostos ao CO₂.

2.3.2 Uso de recursos naturais

Conforme o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Ministério do Meio Ambiente (CBCS; PNUMA; MMA, 2014), a construção civil é responsável pelo consumo de mais da metade dos recursos naturais extraídos do planeta para fins de construção de novas edificações e manutenção das já existentes. Cenário esse associado ao crescimento da população mundial e à maior demanda pelo ambiente construído, acentuando ainda mais os problemas ambientais.

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção (ABRAMAT, 2014), na construção civil, podem ser destacadas oito cadeias de produção: madeiras, argilas e silicatos, calcários, materiais químicos e petroquímicos, siderurgia de aços longos, metalurgia de não ferrosos, materiais elétricos, máquinas e equipamentos para a construção, cada qual composta por seus respectivos setores e responsável por determinados produtos. A Figura 4 a seguir apresenta um fluxograma que abrange as etapas de extração dos recursos naturais e os produtos industriais a serem, na sequência, comercializados.

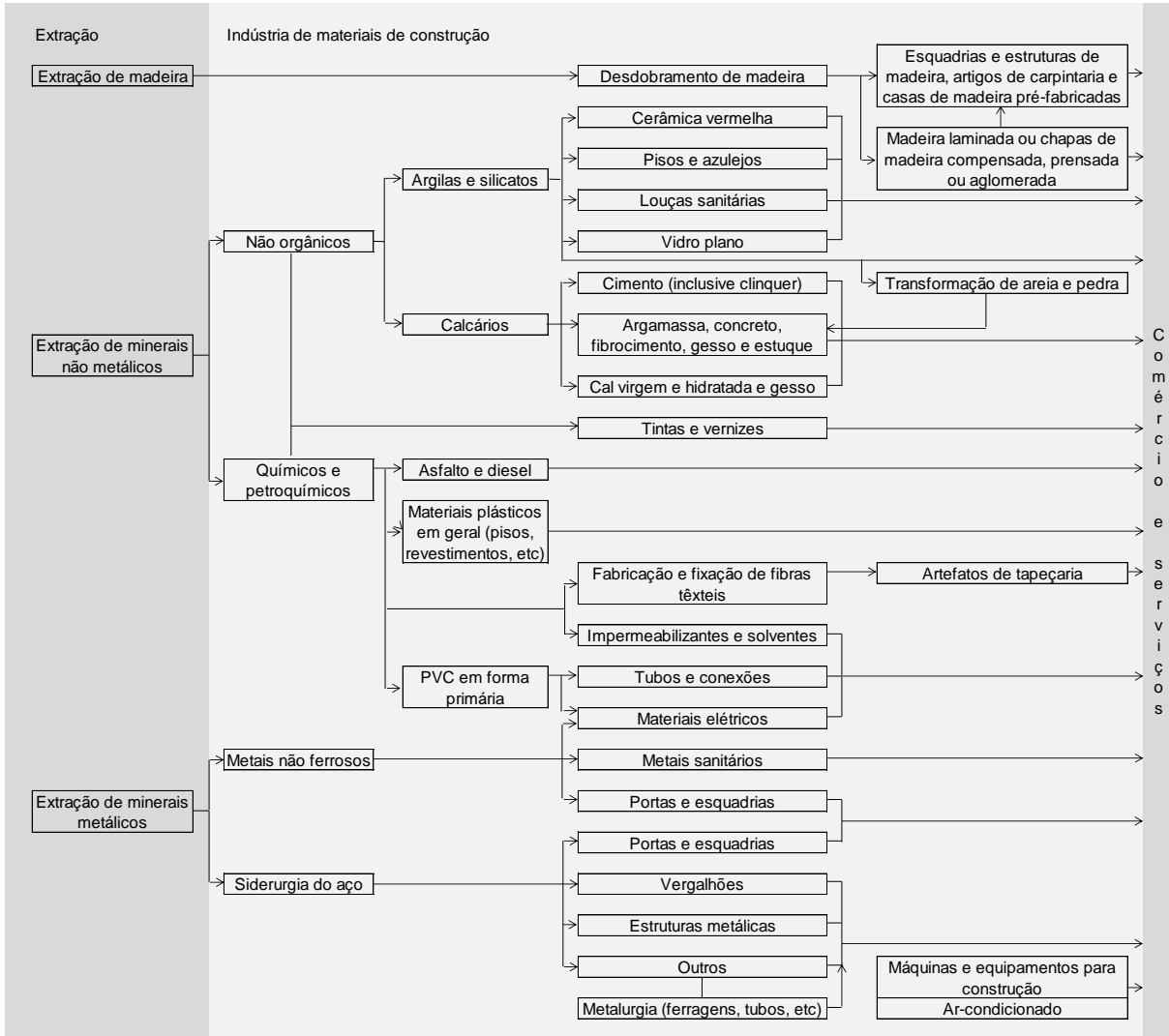


Figura 4 – Cadeias produtivas da construção civil

Fonte: adaptado de ABRAMAT (2014)

Em relação a esse aspecto, CBCS, PNUMA e MMA (2014) destacam madeira, materiais cimentícios, areia, brita, cerâmica vermelha e aço como os principais insumos demandados pela construção civil em termos de massa. Para a execução dos elementos estruturais em concreto armado, escopo do presente trabalho, serão considerados os recursos naturais necessários ao concreto, bem como o aço para armação e o madeiramento para formas.

Nos concretos, os cimentos hidráulicos para aplicações estruturais são caracterizados pelo cimento Portland e suas variações. Trata-se de um produto derivado do clínquer Portland, o qual é constituído, basicamente, por silicatos de cálcio hidráulicos de maneira tal que cálcio e sílica devem estar proporcionados adequadamente. As principais fontes de carbonato de cálcio são calcário, giz e

conchas do mar, apresentando, normalmente, argila e dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) como impurezas. Por sua vez, as principais fontes de sílica adicional são argilas e folhelhos, ao invés de quartzo por ser de difícil moagem (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Quanto às proporções, de acordo com Kihara e Centurione (2005), 75 a 80% do clínquer é composto por calcário e 20 a 25% por argila.

Conforme Mehta e Monteiro (2014), os minerais argilosos, a exemplo de alumínio, ferro e magnésio, que não estiverem em proporções suficientes são adicionados, pois atuam como fundentes, facilitando a formação de silicato de cálcio a temperaturas mais baixas. Na sequência, descrevem os autores, os materiais são homogeneizados, tratados termicamente e tem suas dimensões reduzidas através de um moinho de bolas. Após, aproximadamente 5% de sulfato de cálcio é adicionado ao clínquer para controle das reações de pega e de endurecimento do cimento.

É mandatório mencionar-se os cimentos com adições minerais, materiais finamente moídos e adicionados ao concreto conferindo maior durabilidade, menores custos e maior sustentabilidade ao cimento ao considerar-se redução no consumo de energia e nas emissões de CO_2 . Exemplos de adições minerais são a escória de alto-forno; as pozolanas, podendo ser naturais, como a cinza vulcânica e a terra diatomácea, ou provenientes de processamento industrial, como a cinza volante, a sílica ativa, a cinza de casca de arroz e a argila calcinada; e o filler calcário, normalmente inerte, atuando fisicamente no concreto. Cabe destacar que as pozolanas utilizadas na produção de cimentos e concretos são predominantemente rejeitos industriais (SILVA, M., 2007).

Os diferentes tipos de cimentos com seus respectivos teores de substituição e normas pertinentes estão apresentados na Tabela 1 a seguir. Em uma breve análise, quanto maiores os teores de substituição, menores os percentuais de clínquer demandados por unidade de massa de cimento produzido e, conseqüentemente, menores os consumos dos recursos naturais associados, efeito esse potencializado ao utilizar-se subprodutos industriais como adições minerais.

Para se quantificar os produtos finais, recentes dados brasileiros do Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (SNIC, 2013) apontam para um consumo no ano de 2013 de 70.161.000 toneladas de cimento, o que indica consideráveis quantias de matérias-primas demandadas. A Tabela 2 que segue discrimina a produção por tipo de cimento.

Tabela 1 – Tipos de cimentos e teores de substituição

Tipo de cimento Portland	Sigla	Componentes % (em massa)				Norma
		Clinker + sulfato de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático	
Comum	CP I	100	0			NBR 5732
	CP I-S	95-99	1-5			
Composto	CP II-E	56-94	6-34	0	0-10	NBR 11578
	CP II-Z	76-94	0	6-14	0-10	
	CP II-F	90-94	0	0	6-10	
Alto-forno	CP III	25-65	35-70	0	0-5	NBR 5735
Pozolânico	CP IV	45-85	0	15-50	0-5	NBR 5736
Alta resistência inicial	CP V-ARI	95-100	0	0	0-5	NBR 5733

Fonte: adaptado de NBR 5732 (ABNT, 1991a), NBR 11578 (ABNT, 1997b), NBR 5735 (ABNT, 1991c), NBR 5736 (ABNT, 1999) e NBR 5733 (ABNT, 1991b)

Tabela 2 – Produção de cimento Portland (em toneladas) – ano referência 2013

Tipos de cimento					Ajustes*	Total
CP I	CP II	CP III	CP IV	CP V		
263.000	41.249.000	9.405.000	9.863.000	5.660.000	3.721.000	70.161.000

* Ajustes estatísticos para inclusão da oferta de cimento oriundo de empresas não associadas ao SNIC

Fonte: adaptado de SNIC (2013)

Além dos cimentos, a produção de concreto requer agregados, gráudo e miúdo, os quais, de acordo com Sbrighi Neto (2011), ocupam de 70 a 80% do volume em concretos convencionais, sendo os agregados naturais e britados os mais utilizados, correspondendo a mais de 90% do total de agregados. Afirma o autor que os agregados naturais são extraídos de jazidas, areiras para o caso de agregado miúdo e cascalheiras para agregado gráudo do tipo cascalho ou pedregulho. Das pedreiras são obtidos agregados britados oriundos de rochas desmontadas com auxílio de explosivos seguidos por britagem e seleção granulométrica.

Contudo, Sbrighi Neto (2011) ressalta a perspectiva de esgotamento de jazidas naturais de agregados de boa qualidade próximas a grandes centros consumidores, evidenciando a necessidade de utilização racional desses produtos.

Como alternativa, tem-se agregados artificiais, obtidos por processos industriais como a aglomeração de partículas sólidas por ação térmica (por exemplo, argila expandida termicamente) ou na forma de rejeitos industriais (por exemplo, escória derivada de processos siderúrgicos). Por fim, o autor menciona ainda os agregados reciclados como aqueles obtidos por britagem de entulho proveniente de resíduos de construção e demolição, sendo compostos, basicamente, por fragmentos de concreto, argamassa e cerâmica.

Ainda em relação aos agregados, considerando-se o panorama brasileiro, dados do Departamento Nacional de Produção Mineral, DNPM, (BRASIL, 2014) totalizaram a produção de areia referente ao ano de 2013 para a construção civil em 377.247.785 toneladas. Por sua vez, o total de cascalho e brita produzidos para o mesmo ano de referência foi de 293.526.805 toneladas, estimativas essas realizadas a partir do consumo de produtos complementares, cimento e asfalto, na indústria da construção.

Quanto à fabricação do aço para concreto armado, Morais e Rego (2005) destacam que a cadeia produtiva demanda minerais metálicos, basicamente ferro, que recebe a adição de até 2% de carbono, a serem usinados em siderurgias. Conforme a finalidade de utilização, podem ser adicionados outros elementos como manganês, níquel, enxofre e silício. Os aços utilizados na construção civil brasileira conjuntamente ao concreto apresentam teores médios de carbono entre 0,4 e 0,6%. Quanto à produção, os autores descrevem que, inicialmente, tem-se a fase de redução, em que o oxigênio e demais impurezas incorporadas ao minério de ferro são retiradas em um alto-forno com a adição de cal. O ferro-gusa resultante é encaminhado ao refino, em que são adicionadas ligas metálicas, originando o aço a ser conformado em tarugos. Os tarugos são, então, conduzidos à laminação, fase em que há deformação mecânica para redução da seção, resultando em vergalhões para concreto do tipo CA-25 e CA-50. Os vergalhões de CA-60, por sua vez, são conformados a frio através do processo denominado trefilação, por fieiras, ou laminação a frio, por roletes.

Esse processo descrito em que há predomínio do minério de ferro como matéria-prima é denominado rota integrada, admitindo, no máximo, 25% de sucata. Contudo, cabe destacar, também, a produção do aço em fornos elétricos a arco (FEA) denominada rota semi-integrada que utiliza sucata como matéria-prima principal, praticamente na carga total do forno (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2014).

Assim sendo, de acordo com o relatório do Instituto Aço Brasil (2014), o aço é um material reciclável, sendo esse um aspecto favorável à sustentabilidade. Isso porque, ao final da sua vida útil, pode ser reciclado sem perder a qualidade, permitindo seu retorno à cadeia produtiva e contribuindo com o meio ambiente na medida em que menos recursos naturais não renováveis são demandados. Quantitativamente, de acordo com o referido relatório, a produção de aço bruto no Brasil referente ao ano de 2013 foi de 34,2 milhões de toneladas enquanto que a produção de laminados foi de 26,3 milhões de toneladas, sendo o principal segmento consumidor de aço a construção civil, correspondendo a 37,7%.

Em relação à madeira, afirma Petrucci (1979) que se trata de um material de construção que apresenta uma série de vantagens quando da sua utilização, a citar-se: facilidade de obtenção a um custo relativamente baixo; possibilidade de construção de peças de pequenas dimensões; utilização de ferramentas simples; resistência a esforços de compressão e tração; baixa massa específica e elevada resistência mecânica; facilidade na execução de ligações e emendas; ao ser golpeada, não gera estilhaços; por sua capacidade resiliente, absorve choques; propicia bom isolamento térmico e acústico; em seu aspecto natural, apresenta grande variedade de padrões.

Considerando-se a utilização de madeiramento para execução de formas, Calil Junior e Lahr (2007) apresentam como funções principais a conformação do concreto, a garantia de uma superfície do concreto com a textura superficial ideal e o suporte do concreto fresco até que possua capacidade de auto suportar-se. Tendo-se em vista essas questões e suas propriedades, os autores apontam a madeira como principal material utilizado para essa finalidade, com destaque às madeiras serradas comerciais e às chapas de compensado.

Dentre as madeiras serradas, Calil Junior e Lahr (2007) mencionam o Pinho do Paraná que, pela redução de sua disponibilidade, encareceu o custo das formas, o que desencadeou a busca por novas alternativas, a exemplo de espécies tropicais, como o Cedrilho (ou Cedrinho) e o Pinus, empregados pela trabalhabilidade e facilidade de obtenção, principalmente nas regiões Sul e Sudeste. Por fim, em relação à madeira compensada, salientam sua utilização a partir da carência de madeiras maciças de dimensões e qualidade satisfatórias. Trata-se, portanto, de lâminas de madeira coladas, normalmente, com adesivos sintéticos e com orientação do eixo de simetria das lâminas transversalmente, com vistas à

disposição de mesmas propriedades elásticas e resistentes nas direções principais da chapa.

Ambientalmente, a utilização de madeiramento para formas pode não constituir a solução mais sustentável, tendo-se em vista a utilização de um recurso natural sem grande potencial de reaproveitamento, a exemplo de formas metálicas. Contudo, ressalta Assahi (2005) que a escolha do processo produtivo e do sistema de formas é função de conhecimentos teóricos e práticos, elencando como principais requisitos para a definição as características físicas, geométricas e especificações dos elementos estruturais, os insumos e serviços técnicos disponíveis, os prazos e os materiais adquiridos ou locados.

Assim sendo, CBCS, PNUMA e MMA (2014) sintetizam as questões referentes à demanda por recursos naturais para o suprimento da cadeia produtiva dos materiais de construção civil, destacando que a minimização no consumo requer a consideração de, basicamente, três aspectos: a maximização da vida útil de componentes e de edificações, a redução de perdas no setor da construção e a melhoria na gestão pelo aumento da reciclagem de resíduos.

2.3.3 Consumo de energia

De acordo com CBCS, PNUMA e MMA (2014), o requerimento de energia para a construção civil e o ambiente construído pode ser analisado em quatro segmentos principais: extração, produção e transporte de matérias-primas; execução de edificações no canteiro de obras; operação da edificação e do ambiente urbano; demolição ao término da vida útil. A publicação destaca que a demanda energética na construção e na demolição é baixa se comparada à fase de utilização, com poucos dados disponíveis, não sendo, por isso, objetivo da presente abordagem teórica.

Em seu estudo, Hammond e Jones (2011) analisaram diversos materiais empregados na construção civil e quantificaram a energia incorporada desde os processos de extração até os pontos de utilização, valendo-se, portanto, de uma abordagem *cradle-to-gate* (berço ao portão). Os resultados referentes a cimento, concreto, agregados, aço e madeira para construção seguem na Tabela 3.

Tabela 3 – Energia incorporada aos materiais de construção

Produto	Energia incorporada (MJ/kg)*	Observação
Cimento Portland	5,500	94% clínquer, 4% gesso, 1% componentes minoritários
Concreto 16-20 MPa	0,700	Dados médios com base com misturas típicas de concreto (12% de cimento em massa)
Concreto 20-25 MPa	0,740	
Concreto 25-30 MPa	0,780	
Concreto 28-35 MPa	0,820	
Concreto 32-40 MPa	0,880	
Concreto 40-50 MPa	1,000	
Agregado miúdo	0,081	-
Agregado graúdo (cascalho ou brita)	0,083	-
Aço para construção	13,100	Reciclado
Madeira (laminada e colada)	12,000	-

*Estimativas para o Reino Unido

Fonte: adaptado de Hammond e Jones (2011)

A partir do estudo realizado, percebe-se que o aço, ainda que reciclado, e o madeiramento incorporam mais energia na sua fabricação se comparados aos demais materiais apresentados. Na sequência, destaca-se o cimento que, ao ser misturado aos agregados, de menores demandas energéticas, irão resultar nos concretos de diferentes resistências e diferentes energias incorporadas.

A esse respeito, Barcelo et al. (2014), ao analisarem o trabalho de Hammond e Jones (2011), também destacam que, sob análise comparativa em relação aos materiais tipicamente empregados na construção civil (a exemplo de madeira, betume, asfalto, gesso, aço, alumínio, vidro, plástico, argila e cal), o cimento e o concreto apresentam baixa energia incorporada, expressa em *MJ/kg de material*, e, conseqüentemente, baixa emissão de CO₂, expressa em *kgCO₂/kg de material*. No entanto, Barcelo et al. (2014) salientam o efeito de escala da produção, capaz de majorar os impactos ambientais por eles gerados.

Kihara e Centurione (2005) descrevem a produção do cimento Portland, o qual é obtido a partir do clínquer Portland, essencialmente composto por calcário e argila. As etapas de processamento incluem extração de matéria-prima, britagem,

pré-homogeneização, moagem e homogeneização de forma que o material resultante apresente finura, composição química e uniformidade adequadas. Segundo os autores, para a calcinação do clínquer, dois processos básicos podem ser empregados: por via úmida e por via seca, com os processos intermediários, semi-úmido e semi-seco. Nos processos por via-úmida, as matérias-primas são moídas e homogeneizadas com a adição de água, cerca de 40%, o que vem por demandar mais energia. Esse processo vem sendo substituído, paulatinamente, pela via seca de produção.

Corroborando essa afirmação, dados do *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD, 2012) expressam que, em um panorama mundial, em 1990, 14% da produção de clínquer se dava por via úmida, ao passo que 32% era por via seca com pré-aquecimento e pré-calcinação. Recentemente, no ano de 2012, a pesquisa revelou melhorias no cenário, visto que a produção por via úmida foi reduzida a 4% e por via seca encontra-se no patamar de 65%, dados esses apresentados na Figura 5. Evidencia-se, dessa forma, a busca pela sustentabilidade no setor ao longo do processo produtivo do clínquer no que tange o consumo energético.

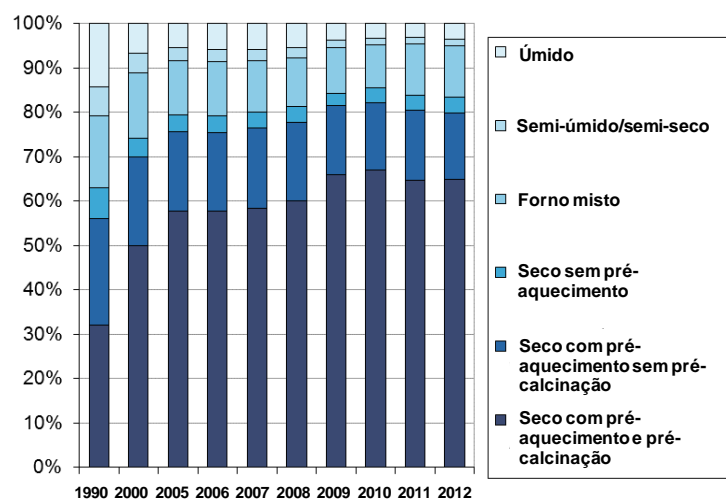


Figura 5 – Volumes de clínquer por tipo de forno (%) – panorama mundial

Fonte: adaptado de WBCSD (2012)

Na produção de cimento, a energia térmica é utilizada nos fornos para secagem, aquecimento e calcinação da matéria-prima. A quantificação da energia térmica requerida considerando-se o cenário brasileiro, discriminada por tipo de

fonte de energia, está apresentada na Figura 6. Percebe-se notória empregabilidade de combustíveis fósseis, caracterizados por recursos não renováveis, em conformidade aos dados da Confederação Nacional da Indústria e da Associação Brasileira de Cimento Portland (CNI; ABCP, 2012) os quais indicam que, no Brasil, o principal combustível utilizado pela indústria de cimento é o coque de petróleo, correspondendo a aproximadamente 75% dos recursos energéticos. Outros combustíveis empregados são carvão mineral, óleo combustível, pneus, resíduos industriais e biomassa.

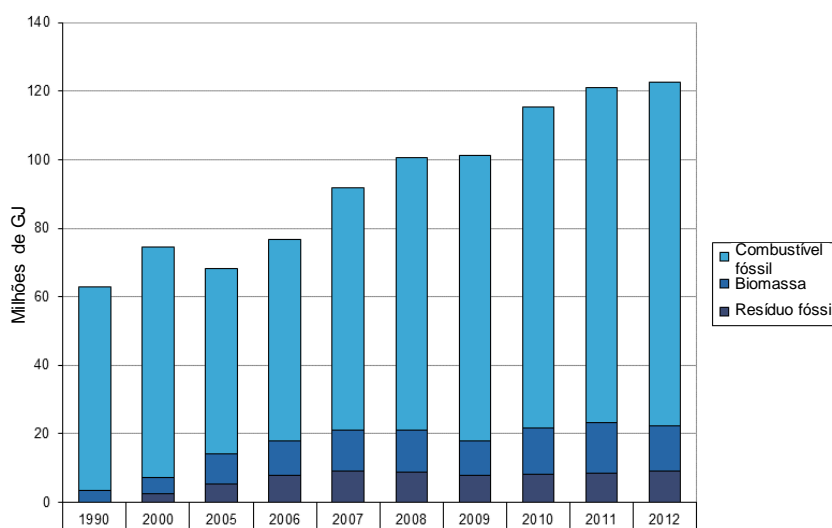


Figura 6 – Consumo de energia térmica (milhões de GJ) – panorama brasileiro

Fonte: adaptado de WBCSD (2012)

Por sua vez, a energia elétrica demandada para a produção do cimento, de acordo com Maringolo (2001), é utilizada no processo de moagem do clínquer e das matérias-primas, bem como na operação do forno e do resfriador. Conforme dados de WBCSD (2012), em média, no Brasil, são consumidos 103 kWh de energia elétrica para cada tonelada de cimento produzido.

Considerando-se, agora, o consumo energético de uma edificação ao longo do seu ciclo de vida, faz-se importante a avaliação da energia demandada ao longo da utilização. De acordo com CBCS, PNUMA e MMA (2014), o consumo energético em edificações residenciais é função do crescimento populacional, do número de habitantes por domicílio e do seu poder aquisitivo. Contabilizam-se 63 milhões de domicílios no Brasil atualmente, o que representa um consumo de energia elétrica 124 TWh, 44% do consumo total. A perspectiva é que, no ano de 2050, o número de

residências seja de 98 milhões e que o consumo aumente para 336 TWh, 67% do consumo total.

Para uma vida útil de 50 anos, constata-se que elevados percentuais, cerca de 85 a 95% de energia consumida, são decorrentes das atividades de uso de uma edificação, sendo esses percentuais internacionalmente aceitos pela comunidade científica. Na medida em que esses valores podem ser reduzidos, através da adoção de soluções técnicas tais como sistemas de isolamento, aquecimento de água e de ventilação, atribui-se maior importância à etapa de obtenção e produção dos materiais (THORMARK, 2006).

2.3.4 Geração de resíduos

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 307 estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil, sendo apresentada, em seu Art. 2º, a definição de resíduo da construção civil:

Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha. (BRASIL, 2002, p. 1).

Conforme John (2011), todo o fluxo de materiais produz resíduos, seja ao término de sua vida útil, seja em etapas anteriores, a exemplo da exploração de jazidas, do processamento industrial, da produção, do transporte, das atividades no canteiro de obras, da manutenção e do pós-uso, conforme apresentado na Figura 7. O autor ainda ressalta as baixas taxas de reciclagem no setor da construção civil, a exceção de alguns países desenvolvidos, associadas à deposição indevida dos resíduos, o que implica elevados custos sociais e impactos ambientais. Como dificuldades à prática da reciclagem, elenca a variedade e a variabilidade nas propriedades dos materiais gerados, eventuais contaminações e a dificuldade de

separação entre fases distintas, o que consiste em um entrave à obtenção de resíduos padronizados.

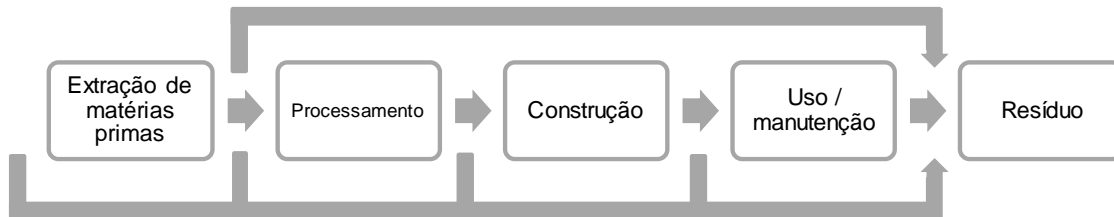


Figura 7 – Fluxo de materiais e geração de resíduos

Fonte: adaptado de John (2011)

Ye et al. (2012) afirmam que os resíduos de construção impactam sob a perspectiva econômica, ambiental e também social. Sob a ótica econômica, destacam os custos associados à coleta dos resíduos, às atividades de separação e classificação, à aquisição de equipamentos, à disposição em aterros sanitários, bem como os lucros oriundos da reciclagem. Em relação aos aspectos ambientais, os autores ressaltam a perda de áreas naturais com a finalidade de implantação e ampliação de aterros, maior extração de matérias-primas para a produção de novos produtos destinados à construção civil, contaminação do solo e das águas subterrâneas em decorrência dos aterros, aumento dos níveis de poeira no ar e de ruídos em decorrência das atividades de demolição. Os impactos sociais, por sua vez, envolvem aumento de oportunidades de trabalho e de capacitação para a construção civil, além de atividades correlatas envolvendo a comunidade na reestruturação do ambiente construído.

Wang, Kang e Tam (2008) desenvolveram um estudo acerca dos resíduos gerados em construções de estruturas em concreto armado, apontando os principais produtos e suas principais fontes geradoras, conforme apresentado no Quadro 2.

(continua)

Produtos	Principais fontes geradoras
Concreto e cimento	Fluência de reboco Demolição de concreto Pedido em excesso Abertura de furos e nivelamento Vazamento pelas formas

(conclusão)

Produtos	Principais fontes geradoras
Blocos	Danos durante trabalho Danos durante transporte e entrega Baixo controle de qualidade
Madeiramento	Fim do tempo de utilização Restos de materiais Projetos não padronizados
Telha/azulejo	Danos durante trabalho Danos durante transporte e entrega Baixo controle de qualidade
Aço e alumínio	Corte de armaduras Danos por ferramentas e equipamentos
Embalagem	Cimento Telha/azulejo Vidro
Plástico	Embalagem de materiais de construção Excesso de tubulações de PVC Excesso de materiais de impermeabilização
Vidro	Danos durante transporte e entrega Danos durante trabalho Projetos não padronizados

Quadro 2 – Principais produtos e fontes geradoras de resíduos

Fonte: adaptado de Wang, Kang e Tam (2008)

Na composição de resíduos de construção e demolição, Pinto (1999) afirma ser baixa a presença de resíduos perigosos, o que, por muitos anos, fez com que a preocupação na área de saneamento estivesse fortemente voltada ao suprimento de água e à coleta de esgoto sanitário e de resíduos não inertes. Contudo, destaca que, embora as atividades da construção civil gerem, comparativamente aos demais setores, resíduos menos agressivos à saúde e ao meio ambiente, deve-se atentar às elevadas quantias geradas, o que vem por interferir massivamente na gestão de resíduos.

A estimativa do total de resíduos gerados pela construção é de difícil quantificação em um panorama em nível de Brasil, tendo-se em vista o crescimento urbano e o desenvolvimento da construção civil, e em nível mundial, em função das diferenças entre os países. Para se ter noção da magnitude dos resíduos gerados, reporta-se a um estudo desenvolvido pela Associação Brasileira de Empresas de

Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2013) acerca do panorama dos resíduos sólidos no Brasil, considerando-se apenas os resíduos de construção e demolição (RCD) de obras sob a responsabilidade dos municípios brasileiros e os lançados em logradouros públicos. Conforme dados da publicação, em relação ao ano de 2012, 2013 apresentou um incremento de 4,6% nos resíduos coletados. Em termos absolutos, foram coletados 117.435 toneladas de RCD por dia, o que caracteriza um índice de 0,584 kg/hab.dia.

Kern et al. (2015) desenvolveram um modelo estatístico de regressão múltipla com base em dados quantitativos e qualitativos obtidos junto a dezoito edificações residenciais da região sul do Brasil. Na avaliação da influência de variáveis de projeto e de execução das estruturas na geração de resíduos, dentre as variáveis estudadas, destacaram-se: a relação entre número de pavimentos-tipo e número total de pavimentos, a reutilização de resíduos nos canteiros de obra (10 a 15% do total de resíduos gerados), o índice econômico de compactação (relação numérica que engloba a área do pavimento e seu respectivo perímetro), o sistema construtivo (tradicional ou industrializado) e a área de apartamentos. De acordo com os autores, essa combinação de fatores é capaz de prever 69% dos resíduos nas amostras estudadas.

O *Official Journal of the European Union*, publicado por *European Parliament e Council of the European Union* (2008), apresenta uma hierarquização para os resíduos, estabelecendo uma sequência prioritária com as melhores práticas ambientais de gestão de resíduos em função dos impactos gerados: prevenção, reutilização, reciclagem e disposição. De acordo com a publicação, a prevenção contempla as medidas prioritárias a serem realizadas antes de um material ou produto ser transformado em resíduo, reduzindo o resíduo propriamente dito, os impactos associados e o nível de substâncias agressivas incorporadas. Na sequência, deve-se optar pelo reuso que diz respeito ao reaproveitamento de componentes com a mesma finalidade para a qual foram inicialmente concebidos, sem a necessidade de processamentos adicionais. A reciclagem, por sua vez, contempla os processos de recuperação dos resíduos em que os mesmos são reprocessados e transformados em produtos com a mesma finalidade original ou não. Por fim, na disposição, tem-se a destinação final quando as etapas anteriores não se fizerem possíveis. Exemplos de operações de disposição são: disposição

superficial ou subterrânea, descargas em meios aquáticos, tratamento biológico, físico ou químico e incineração.

Como recomendações para a melhoria da gestão de resíduos, Wang, Kang e Tam (2008) apontam mudanças nas legislações; treinamentos e educação dos operários; consideração das questões ambientais na etapa de projeto; inclusão de requisitos ambientais e redução de resíduos em projetos e propostas de licitações, por exemplo; implementação de sistemas de gestão no próprio local da obra pelo reuso de materiais para redução de resíduos e atribuição de responsabilidades aos funcionários; melhorias na comunicação entre os envolvidos, evitando-se demolições e reconstruções desnecessárias.

2.3.5 Consumo de água

A água é o recurso natural mais amplamente consumido no mundo para os mais diversos fins: consumo humano, industrial, agrícola, limpeza, construção civil, dentre tantos outros. Segundo estimativa recente do grupo *McKinsey & Company* (2009), o consumo anual de água é de cerca de 4.500 km³, sendo estimado para o ano de 2030, em condições de crescimento econômico medianas e sem maiores implementações em eficiência no seu uso, um consumo da ordem de 6.900 km³.

O relatório da *United Nations World Water Assessment Programme* (WWAP, 2014) reitera o alerta para o aumento da demanda por água em decorrência do crescimento da população para atendimento das necessidades de saúde, saneamento, produção de alimentos, energia, além de outros bens e serviços que requerem água para sua produção. Como principais segmentos consumidores de água doce no mundo, a publicação aponta a agricultura, as indústrias e os usos domésticos.

Assim sendo, a construção civil está na interface dos usos industrial – doméstico, a depender da etapa em análise: produção de insumos, execução ou ocupação.

Sob esse aspecto, destaca-se o conceito de pegada hídrica, que, conforme explicam Hoekstra et al. (2011), consiste em um indicador do uso da água, considerando-se o uso direto por um consumidor ou produtor e o uso indireto, com

uma abordagem mais abrangente, podendo-se estimar o volume de água necessário à produção de um produto ao longo de toda a cadeia produtiva. A pegada hídrica de uma empresa (ou pegada hídrica corporativa ou, ainda, pegada hídrica organizacional) – para o presente estudo, pode-se considerar uma construtora, por exemplo – pode ser entendida como o volume total de água doce utilizado em atividades operacionais (direta) e para a geração de bens e serviços que compõem os insumos utilizados pela empresa (indireta). Os autores ainda destacam a pegada hídrica adicional, a qual é vinculada às atividades necessárias à manutenção da empresa, de bens e de serviços demandados, não estando associada a um produto em específico. Exemplos de pegada hídrica estão apresentados no Quadro 3.

Pegada hídrica operacional		Pegada hídrica da cadeia de suprimento	
Pegada hídrica diretamente associada à elaboração de produtos da empresa	Pegada hídrica adicional	Pegada hídrica diretamente associada à elaboração de produtos da empresa	Pegada hídrica adicional
- Água incorporada ao produto - Água consumida ou poluída através de um processo de lavagem	- Consumo ou poluição de água relacionados ao uso da água em cozinhas, limpeza, lavagem de roupas	- Pegada hídrica de ingredientes de produto comprado pela empresa - Pegada hídrica de outros itens comprados pela empresa para processar seus produtos	- Pegada hídrica de infraestrutura - Pegada hídrica de energia e materiais de uso geral (materiais de escritório, combustível, eletricidade)

Quadro 3 – Exemplos de componentes de pegada hídrica

Fonte: adaptado de Hoekstra et al. (2011)

Hoekstra et al. (2011) apresentam, por fim, a pegada hídrica de uso final, associada ao consumo e à poluição da água quando da utilização do produto pelos consumidores, fator esse que é bastante variável conforme cada usuário e situação em particular.

Para o caso da construção civil, o consumo de água se dá nas mais diversas etapas: produção de insumos, execução, limpeza, utilização por funcionários e por usuários da edificação, conforme será abordado a seguir.

Costa Filho, Silva e Brito (2013) ressaltam que não é comum a disponibilização de dados referentes ao consumo de água do setor, o que possivelmente se deve ao fato de seu consumo não impactar intensivamente no orçamento total da obra. Contudo, salientam que esse panorama tende a ser modificado devido à tendência de escassez de água no cenário urbano, tornando-a

um recurso mais oneroso ao consumidor. Nos canteiros de obras pesquisados, os autores afirmam que as principais demandas hídricas se dão na mistura de concreto e de argamassa, na cura de concreto, no controle de poeira, nos testes de impermeabilização, na pintura a látex e na limpeza final da edificação.

Especificamente como material constituinte dos concretos, Isaia (2011b) destaca que o consumo de água não impacta massivamente na sustentabilidade do meio ambiente, tendo-se em vista que, em termos de massa, a água corresponde, em média, a menos de 10% do concreto. Contudo, o autor destaca a importância da água quando da definição das propriedades microestruturais do concreto, tanto no estado fresco, a exemplo da hidratação e da reologia, quanto no estado endurecido, como a resistência e a durabilidade.

Em seu estudo, Silva e Violin (2013) quantificaram o consumo de água por m² de área construída em 0,20 a 0,25 m³. Quanto ao consumo de água por m³ de concreto dosado em central, foi estimado um consumo de 211 litros de água em média. Os autores destacam ainda que as atividades de concretagem como um todo são responsáveis por 39,15 a 68,63%, em média, do total de água consumido nas obras analisadas. Bezerra e Holanda (2008) complementam as estimativas acerca do consumo ao revelarem que a água comumente não é entendida como um material de construção, muito embora se constate seu consumo elevado, a exemplo do concreto que, para a produção de 1 m³ requer, em média, de 160 a 200 litros de água e de aterro que, para a compactação de 1 m³, consome até 300 litros.

Conforme publicação do Ministério do Trabalho e Emprego, NR 18 – Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção (BRASIL, 1978), é exigida, no canteiro de obras, a estruturação de áreas de vivência, as quais devem dispor de instalações sanitárias, vestiário, alojamento, local de refeições, cozinha, lavanderia, área de lazer e ambulatório, esse último quando houver mais de 50 funcionários. Nesse caso, evidencia-se a necessidade de contabilização, também, da água consumida pelos operários em função dos lavatórios, vasos sanitários, mictórios, chuveiros e cozinha instalados.

Sob esse aspecto, Costa Filho, Silva e Brito (2013) acrescentam que se faz necessária a conscientização acerca da utilização racional da água, tanto para a realização de procedimentos operacionais, quanto nas áreas de vivência, evitando-se, dessa forma, desperdícios desnecessários à realização de determinado procedimento.

Confrontando-se as informações apresentadas, percebe-se que não há um valor padrão acerca dos consumos de água, visto que cada obra tem suas peculiaridades no que diz respeito a tipologias estruturais, métodos de execução, dosagem dos concretos e engajamento da empresa e dos funcionários às questões relacionadas à sustentabilidade. Para cada atividade específica da construção civil, deve-se fazer o inventário do ciclo de vida, com base nas fronteiras estabelecidas para a quantificação precisa da quantidade de água incorporada aos produtos e demandada para as atividades correlatas.

2.4 Avaliação do Ciclo de Vida

De acordo com Capmas (2014), o desenvolvimento sustentável voltado às estruturas de concreto envolve três dimensões: a análise do ciclo de vida, a melhoria da equidade social e a eficiência econômica. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) consiste em uma ferramenta de quantificação do impacto ambiental gerado, desde a concepção até a destinação final de uma dada unidade funcional, considerando-se materiais consumidos, energia e emissões lançadas ao meio ambiente. A melhoria da equidade social diz respeito ao acesso a moradias com adequadas condições de habitabilidade, rapidez e baixo custo de execução, além de atendimento às necessidades das gerações vindouras, com destaque ao concreto como material largamente empregado nas edificações. Por fim, o autor aponta a eficiência econômica, ressaltando a possibilidade de emprego do concreto como material estrutural aparente, sem proteções ou necessidade de manutenções especiais, salvo em situações bastante específicas.

Afirma Curran (2006) que os estudos de ACV iniciaram-se na década de 1960, quando do interesse e da necessidade de conhecimento acerca das limitações de matéria-prima e de fontes de energia em um panorama futuro. Uma das primeiras publicações técnicas que se tem notícia consiste em um estudo publicado por Harold Smith na *World Energy Conference*, em 1963, acerca do cálculo da demanda energética requerida para a produção de determinados insumos químicos. Na sequência, tem-se conhecimento de diversas previsões do impacto da demanda populacional por recursos naturais finitos, com conseqüentes mudanças climáticas, incitando pesquisas com estimativas de custos e implicações ambientais em

decorrência do emprego de novas alternativas energéticas. Em 1969, destaca o autor, realizaram-se estudos para uma renomada empresa produtora de refrigerantes para comparação de diferentes tipos de embalagens de bebidas, originando a atual metodologia de análise de inventário do ciclo de vida. Paulatinamente, a metodologia foi aperfeiçoada e, para fins de uniformização de processos de avaliação, foi consagrada, na década de 1990, pela *International Organization for Standardization* (ISO) pelo estabelecimento de diretrizes com a série de normas ISO 14000.

De acordo com John (2011), a ACV consiste em uma ferramenta de quantificação dos fluxos de materiais e de energia envolvidos ao longo do ciclo de vida de um determinado produto. É necessário, para tanto, a avaliação do consumo de matérias-primas, água, energia, emissões para o solo e a atmosfera, bem como geração de resíduos referidos a uma unidade funcional.

No Relatório da *United Nations Environment Programme – Division of Technology, Industry and Economics* (UNEP-DTIE, 2000) acerca dos impactos ambientais na avaliação do ciclo de vida, discorre-se que estudos dessa natureza podem ser realizados pelas mais diversas instituições, tais como indústrias, empresas comerciais, entidades governamentais, organizações não governamentais, grupos ambientalistas e, inclusive, pelos próprios consumidores. A motivação para a realização das análises pode se dar por questões operacionais, quando da necessidade de avaliação de um produto em específico, ou por questões estratégicas, quando da avaliação de diferentes cenários políticos, de gestão de resíduos ou de concepções de projeto. De acordo com a NBR ISO 14040 (ABNT, 2014b), estudos de ACV podem, ainda, subsidiar oportunidades de melhoria no desempenho ambiental de produtos, informações aos tomadores de decisão, seleção de indicadores de desempenho ambiental que se façam relevantes e estratégias de *marketing* de produtos com certificação ambiental.

Como ferramentas de auxílio à realização de Avaliações do Ciclo de Vida, há uma série de *softwares* e de base de dados disponíveis no mercado, a exemplo do SimaPro (Holanda), *Building for Environmental and Economic Sustainability* (BEES) e *Economic Input-Output Life Cycle Assessment* (EIO-LCA) (EUA), Umberto e GaBi (Alemanha) e Inies (França).

A esse respeito, Silva, V. (2003) faz um alerta acerca das bases de dados constantes nos *softwares* internacionais, destacando o caráter regional das

informações que, por vezes, divergem dos materiais e soluções construtivas tipicamente brasileiros. Em decorrência disso e se tendo em vista a carência de dados nacionais confiáveis e, também, a dificuldade em obtê-los, comenta a autora que a realização de estudos de ACV no Brasil pode ser dita complexa, impraticável e insuficiente. Assim sendo, podem-se utilizar dados estrangeiros, feitas as devidas ressalvas e na ciência que os resultados finais não necessariamente refletem a realidade local por completo, mas nos permitem a determinação da magnitude dos impactos ambientais associados, e que os dados de entrada devem ser atualizados na medida em que puderem ser efetivamente coletados e cientificamente tratados.

Nesse sentido, já são percebidas melhorias no atual cenário, tendo-se em vista a maior demanda por estudos dessa natureza e a disponibilização de bases de dados por diversos países, as quais podem, inclusive, ser editadas para melhor adequação à realidade brasileira. Mantovani et al. (2013) reiteram essas questões e destacam eventuais analogias a serem realizadas entre materiais e técnicas empregados no Brasil e em outros países, sugerindo a busca por informações nacionais, principalmente, para os produtos de inventários mais específicos.

Por fim, quanto a estruturação, conforme preconizado pela NBR ISO 14040 (ABNT, 2014b), a avaliação do ciclo de vida contempla quatro etapas básicas: definição de objetivo e escopo, análise de inventário do ciclo de vida, avaliação de impacto do ciclo de vida e interpretação do ciclo de vida. De forma esquemática, segue, na Figura 8, uma breve descrição de cada uma das etapas e suas inter-relações.

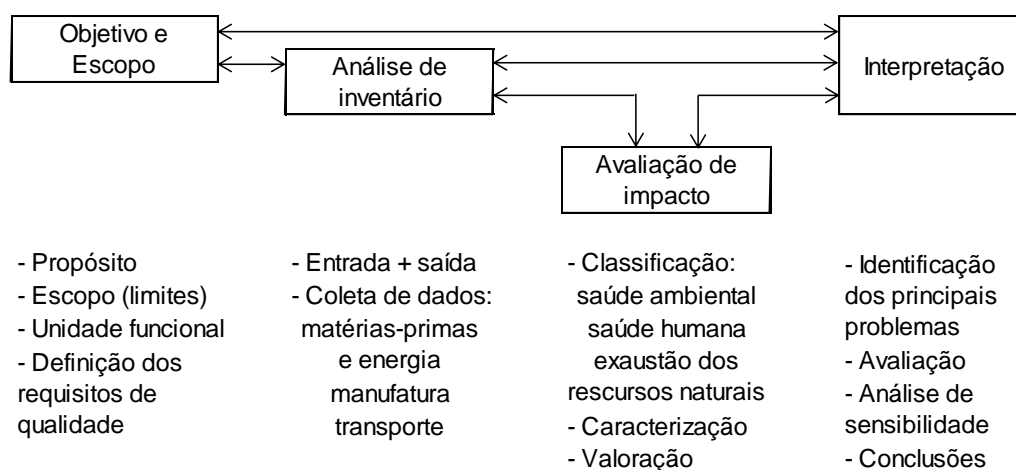


Figura 8 – Etapas da Avaliação do Ciclo de Vida

Fonte: adaptado de Chehebe (1998)

A seguir, segue a explanação acerca de cada uma das etapas anteriormente apresentadas com enfoque nas prescrições normativas da NBR ISO 14040 (ABNT, 2014b) e demais informações complementares.

2.4.1 Definição de Objetivo e Escopo

De acordo com a NBR ISO 14040 (ABNT, 2014b), a definição do objetivo de uma ACV informa a aplicação do estudo e suas razões para execução, o público-alvo a quem se destina e a divulgação dos resultados pretendida. O escopo, por sua vez, aborda o sistema de produto a ser estudado, a unidade funcional, as fronteiras do sistema, as categorias de impacto, a metodologia empregada, os requisitos, pressupostos e limitações quanto aos dados e à abordagem.

Conforme *European Commission, Joint Research Centre e Institute for Environment and Sustainability* (2010), em um estudo de ACV, as definições das etapas iniciais são fundamentais para as fases seguintes. De imediato, a delimitação do objetivo condiciona o escopo; o controle de qualidade do trabalho fundamenta-se nas exigências também definidas pelo objetivo; por fim, as avaliações e as interpretações posteriores também serão realizadas de acordo com o objetivo traçado. Ainda conforme a publicação consultada, em uma ACV, tem-se um processo iterativo na medida em que se define o objetivo do trabalho a partir do qual as definições do escopo são derivadas para a sequência das atividades. Contudo, as etapas seguintes de coleta de dados, avaliação e interpretação de impactos podem requerer revisão e refinamento em decorrência das definições prévias do escopo para o atendimento dos objetivos iniciais propostos.

Chehebe (1998) salienta a importância da descrição do sistema relacionado ao produto, isto é, do conjunto de operações que representam uma ou mais funções definidas. Trata-se da “descrição quantitativa dos fluxos elementares e de produtos que atravessam os limites do sistema (tanto para as entradas quanto para as saídas), das unidades de processo e dos fluxos intermediários de produtos dentro do próprio sistema.” (CHEHEBE, 1998, p. 29). O autor destaca que os sistemas devem ser subdivididos em unidades de processo para a melhor identificação das entradas e saídas associadas, observando-se as leis de conservação de massa e energia e

sendo seus limites função do grau de detalhamento necessário para atendimento dos objetivos.

De acordo com Curran (2006), os dados de entrada e de saída devem ser referenciados a uma unidade funcional a ser definida ainda no escopo. A unidade funcional precisa caracterizar de forma clara e adequada a função do produto ou do processo em questão, sendo utilizada como referência para a quantificação e apresentação dos resultados. Afirma o autor que, quando o estudo de uma ACV vale-se de critérios comparativos entre dois ou mais produtos, a base de comparação deve ser a utilização equivalente de forma que os sistemas devam ser definidos considerando-se um produto ou serviço de mesma função.

As unidades funcionais adotadas são as mais variadas, devendo valer-se de análise criteriosa na sua definição para que as conclusões sobre a ACV sejam possíveis e passíveis de comparação.

2.4.2 Análise de Inventário do Ciclo de Vida

Conforme a NBR ISO 14040 (ABNT, 2014b), a análise do inventário de ciclo de vida consiste na coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificação de entradas e saídas associadas a um sistema de produto. Os dados precisam ser classificados em entradas de energia, de matéria-prima, entradas auxiliares ou físicas; produtos, co-produtos e resíduos; emissões para o ar, água e solo, além de outros aspectos ambientais. Feito isso, de acordo com a referida norma, devem ser aplicados procedimentos de cálculo para a validação dos dados, correlacionando-os a processos elementares e a unidade funcional.

Para uma ACV precisa, são necessários dados consistentes, de elevada qualidade e de fontes documentadas, consistindo na etapa mais demorada e difícil do estudo. Os dados podem ser de caráter primário ou secundário, conforme a origem. Dados primários são oriundos de medições e observações pessoais, com precisão, confiabilidade e método de coleta conhecidos, enquanto que dados secundários provem de fontes externas, podendo conter variabilidades e diferenças consideráveis até mesmo para informações referentes ao mesmo país (LEE; CALLAGHAN; ALLEN, 1995).

Nessa etapa, portanto, podem ser elaborados questionários para aplicação em indústrias e empresas que compõem a cadeia produtiva, visando à obtenção de dados locais mais específicos, ou se utilizar dados de relatórios e publicações técnicas de domínio comum, atentando para a confiabilidade e a adequação aos elementos do estudo. Quando da inviabilidade de um levantamento preciso e detalhado por questões de custo e de tempo, também há a possibilidade de utilização de inventários já previamente elaborados constantes nas bibliotecas dos *softwares* de Avaliação do Ciclo de Vida, buscando-se sempre informações as mais condizentes possíveis ao estudo em desenvolvimento.

Chehebe (1998) afirma que, se possível, todos os fluxos de entrada e saída de todas as unidades de processo deveriam ser contabilizados, o que viria por inviabilizar as análises em função das inúmeras ponderações a serem feitas. É necessário adotar determinados critérios de seleção de forma a considerar os elementos mais significativos para a modelagem, sabendo-se que as entradas totais devem igualar-se às saídas totais. O autor exemplifica que as entradas e saídas referidas a energia devem ser quantificadas nas respectivas unidades de energia, considerando-se os fluxos energéticos demandados para produção, transporte e consumos diversos no sistema em estudo.

UNEP-DTIE (2000) afirma que, após a coleta dos dados, procede-se a normalização, isto é, os dados levantados e as saídas são referenciados à unidade funcional. É importante destacar que um mesmo processo pode gerar mais de um produto, devendo ser realizada a alocação dos dados, distribuindo-se as emissões e as extrações de recursos naturais entre as diferentes funções: o produto e o subproduto gerado. Por fim, a publicação destaca a necessidade de avaliação da qualidade dos dados, tendo-se em vista que a credibilidade do estudo depende da confiabilidade dos dados disponibilizados.

2.4.3 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida

Na NBR ISO 14040 (ABNT, 2014b), consta que, na fase de avaliação de impacto do ciclo de vida, objetiva-se, com base nos resultados do inventário, avaliar a significância dos impactos ambientais potenciais. Para tanto, devem ser

associados dados do inventário a categorias de impacto relevantes ao estudo e seus respectivos indicadores.

Conforme a NBR ISO 14044 (ABNT, 2014c), essa etapa inicia-se pela seleção de categorias de impacto de acordo com o sistema de produto em estudo, o escopo e o objetivo previamente definidos. Na sequência, procede-se a classificação, isto é, os resultados do inventário são correlacionados às categorias de impacto para, então, serem caracterizados, ou seja, para os indicadores numéricos serem calculados e contabilizados dentro de uma mesma categoria. Esses são elementos obrigatórios para a fase de avaliação de impacto. Como elementos opcionais, a referida norma apresenta normalização, agrupamento, ponderação e análise da qualidade dos dados.

Ainda de acordo com a NBR ISO 14044 (ABNT, 2014c), a normalização consiste no cálculo da magnitude dos indicadores de categoria em relação a uma referência enquanto que o agrupamento consiste na reunião de categorias de impacto em conjuntos. Por sua vez, a ponderação converte resultados de diferentes categorias de impacto pela atribuição de pesos conforme a relevância atribuída, o que consiste em um critério, de certa forma, subjetivo passível de grande variabilidade. Em relação à análise da qualidade dos dados, a norma sugere a avaliação da significância, incerteza e sensibilidade dos resultados obtidos detectando-se eventuais resultados incompatíveis e orientando processos iterativos que se façam necessários para o atendimento do objetivo e do escopo.

Com vistas à quantificação da carga ambiental total baseada no ciclo de vida de um produto, são utilizados Eco-Indicadores, a exemplo do Eco-Indicador 99. Eco-Indicadores são números que, quanto maiores os seus valores, representam maiores impactos ambientais. O Eco-Indicador 99 realiza análises com base em três categorias de danos, cada qual com seus respectivos indicadores: saúde humana (alterações climáticas, destruição da camada de ozônio, efeitos cancerígenos, efeitos respiratórios e radiação ionizante), qualidade do ecossistema (ecotoxicidade, acidificação, eutrofização e uso da terra) e, por fim, recursos (esgotamento de recursos fósseis e minerais) (*MINISTRY OF HOUSING, SPATIAL PLANNING AND THE ENVIRONMENT, 2000*).

A publicação de *Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment* (2000) ainda destaca que, durante o processo de projeto, dispõe-se de diversas opções a serem avaliadas pelo projetista, de forma que os Eco-Indicadores

constituem ferramenta auxiliar à tomada de decisão, conforme abordagem do subitem a seguir.

2.4.4 Interpretação do Ciclo de Vida

A NBR ISO 14040 (ABNT, 2014b) comunica que a fase de interpretação consiste na consideração conjunta da análise de inventário e da avaliação de impacto, sendo necessário que os resultados estejam em conformidade com o objetivo e o escopo, culminando em conclusões e recomendações a quem o estudo se destina. A norma ressalta, ainda, o caráter iterativo de análise crítica e revisão com as etapas anteriores, de forma a assegurar uma apresentação de resultados compreensível, completa e consistente para a ACV.

Chehebe (1998) destaca que se deve proceder uma avaliação geral da ACV realizada, contemplando integridade, sensibilidade e consistência das informações. Segundo o autor, a checagem da integridade objetiva assegurar que os dados utilizados no estudo realmente são os mais importantes para o inventário e a avaliação de impacto. A análise de sensibilidade, por sua vez, destina-se a observância da confiabilidade dos dados e de que maneira pequenas variabilidades podem influenciar os resultados finais. Já a checagem da consistência avalia a significância dos resultados pelo estabelecimento de determinado grau de confiança para os resultados do estudo.

Curran (2006) salienta que estudos de ACV podem requerer suposições, estimativas e decisões técnicas, as quais devem ser apresentadas claramente como forma de justificativa para as conclusões obtidas. A depender da precisão e da confiabilidade dos resultados finais, pode-se definir, ao fim do estudo, comparativamente, qual a melhor alternativa dentre as analisadas. Quando os dados não o permitirem, tem-se como conclusão uma melhor compreensão dos impactos gerados, bem como de suas respectivas magnitudes, seus prós e contras associados. Contudo, o autor ainda destaca que, embora uma ACV utilize-se de análises de impactos bastantes completas ao longo do ciclo de vida, não são avaliados critérios como desempenho técnico, custos e aceitação política e social

das alternativas, devendo-se, em uma análise macro, considerar esses aspectos complementares.

2.4.5 Avaliação do Ciclo de Vida na Construção Civil

De acordo com o CBCS (2014b), pode-se avaliar o ciclo de vida de um produto ou serviço da construção civil empregando-se a metodologia da ACV-m (Avaliação do Ciclo de Vida modular), a qual se utiliza apenas dos impactos ambientais mais críticos do setor. A ACV-m inicialmente foi desenvolvida para estudos acerca de blocos de concreto, mas tem validade na quantificação dos fluxos de entrada e de saída basicamente para os componentes de concreto em geral, ao considerar cinco indicadores principais: uso de recursos naturais, consumo de energia e de água, mudanças climáticas e geração de resíduos.

Especificamente quando da abordagem do ciclo de vida das estruturas, a ferramenta de ACV consiste em uma estimativa bastante precisa da magnitude dos impactos ambientais gerados. Podem-se avaliar diferentes opções de materiais ou sistemas e suas conseqüentes implicações nas etapas de execução ou operação, permitindo, dessa maneira, a definição da melhor alternativa de projeto e a elaboração de sugestões de melhorias ambientais (OCHSENDORF et al., 2011).

De acordo com Guoguo (2009), a ACV pode ser empregada no setor da construção em dois níveis: para avaliação de materiais de construção e componentes e para avaliação de edifícios. A avaliação em nível de materiais é realizada para análise comparativa entre alternativas com vistas a suas melhorias e desenvolvimento técnico e, também, como forma de entrada para avaliação do ciclo de vida de uma edificação como um todo. Por sua vez, a avaliação em nível de edificação é conduzida objetivando o suporte à tomada de decisão, seja na fase de projeto e construção ou, ainda, em posteriores situações de utilização.

Guoguo (2009) também discorre acerca da inter-relação entre as diversas fases que compõem o ciclo de vida de um produto da construção civil, a citar-se planejamento, construção, utilização, manutenção, reconstrução, demolição e reciclagem. Contudo, destaca que cada fase deve ser tratada separadamente no

inventário do ciclo de vida e, a depender das condições de contorno idealizadas, os objetivos e o escopo podem ser ajustados.

Com a crescente preocupação com as questões voltadas à sustentabilidade, percebe-se, nos mais variados setores da construção civil, a realização de diversas pesquisas fundamentadas em estudos de ACV para avaliação dos impactos gerados por dada atividade e para a determinação da melhor solução técnica com base em estudos comparativos.

Damineli et al. (2010), ao abordarem a utilização do cimento, afirmam que a eficiência da utilização no concreto pode ser referenciada ao total de material aglomerante, ao custo de produção ou à carga ambiental associados a uma unidade definida por um indicador, a exemplo de resistência à compressão, resistência à flexão ou módulo de elasticidade. Sob a ótica da metodologia da ACV, os autores propõem a consideração de uma unidade funcional relacionada ao desempenho, a exemplo da resistência à compressão, ao invés de parâmetros de volume ou de massa que não representam a função principal do concreto na maioria das aplicações.

Sjunnesson (2005) estudou o ciclo de vida, excetuando a etapa de utilização, de dois tipos de concreto, um concreto comum e um concreto resistente ao congelamento, com foco no emprego de aditivos superplastificantes, adotando como unidade funcional 1 m³ de concreto. O estudo concluiu que a produção de matérias-primas, com destaque ao cimento, e os transportes são as atividades que exercem maior impacto. Comparativamente, o impacto ambiental do concreto resistente ao congelamento é entre 24 e 41% superior em decorrência de seu elevado teor de cimento, sendo os superplastificantes responsáveis por 0,4 a 10,4% do impacto total do concreto.

Em seu estudo, Boulenger (2011) valeu-se do ciclo de vida simplificado, considerando bases de dados públicas para a avaliação do impacto ambiental associado a uma ponte e a um túnel em decorrência das atividades de produção dos insumos, dos processos construtivos propriamente ditos e da fase de transporte. A unidade funcional considerada foi uma estrutura de 1 km de comprimento, com três pistas de rolamento por sentido e com fluxo de 1600 veículos diários, de forma que ambas as situações de projeto fossem consideradas com a mesma localização e apresentassem os mesmos requisitos de desempenho. Como resultados do estudo, percebeu-se que os impactos ambientais da ponte foram maiores que os do túnel,

com destaque ao concreto como material de construção. Foi constatado também que, em relação à fabricação do concreto, sua produção *in loco* reduz os impactos ambientais para ambas as estruturas, sendo que, para a ponte, as emissões de CO₂, o potencial de aquecimento global e o consumo de energia são reduzidos a mais de 60%.

Souza et al. (2015) compararam os impactos gerados ao longo de uma vida útil de 20 anos de telhas cerâmicas e telhas de concreto, considerando-se como unidade funcional 1 m² de telhado com a finalidade de proteção da edificação contra eventos climáticos e isolamento térmico. Os sistemas foram definidos considerando-se a extração e o processamento das matérias-primas até a deposição final em aterro. Constatou-se que as telhas cerâmicas apresentam menor impacto em relação às categorias alterações climáticas, esgotamento de recursos e consumo de água e, em relação a saúde humana e qualidade dos ecossistemas, as variações entre os dois tipos de telhas analisados foram insignificantes.

Considerando-se a produção de 1 kg de clínquer como a unidade funcional, Valderrama et al. (2012) realizaram um estudo de ACV em uma fábrica de cimento da Espanha comparando a nova linha de produção, executada com vistas a maior eficiência energética, às antigas linhas. Os resultados apontaram que a nova linha de produção reduz os impactos ambientais em 5% para o aquecimento global, em 15% para a acidificação, em 17% para a eutrofização e em 13% para a demanda energética. Em relação à avaliação de danos, comparativamente, constatou-se uma redução de 11% para a saúde humana, de 11% para a qualidade do ecossistema e de 14% para os recursos quando comparados os dois processos produtivos.

Knoeri, Mengual e Althaus (2013) avaliaram o ciclo de vida de concretos convencionais e de concretos com agregados reciclados, sendo a unidade funcional 1 m³ de concreto de uma determinada classe de resistência no local de execução em obra. Os resultados apontam para uma redução de cerca de 30% do impacto ambiental quando da utilização de concreto com agregados reciclados o que pode ser justificado, segundo os autores, pela próprias fronteiras do sistema, na medida em que a reciclagem reduz impactos ambientais associados à disposição dos resíduos de construção e demolição e à produção do aço, o qual também poderá ser reciclado. Constatou-se também que se deve limitar a quantidade adicional de cimento no concreto reciclado a um teor de 10% e as distâncias de transporte dos

resíduos em 15 km para que permaneça com o menor potencial de geração de impactos.

Borges et al. (2014) desenvolveram uma pesquisa com concretos de cimento Portland (CP II-E, com 34% de escória de alto-forno) e concretos geopoliméricos, para uma unidade funcional equivalente a uma unidade de volume de concreto – 1 m³ – visto que os concretos em análise apresentavam mesma resistência à compressão axial e mesma idade de controle. Realizou-se uma abordagem *cradle-to-gate*, excluindo-se os processos de transporte e extração de matérias-primas comuns e de execução da estrutura, por serem os mesmos para ambos os tipos de concreto, sendo analisados dois parâmetros: a demanda energética, em *kJ/m³* de concreto, e a emissão de CO₂, em *kg/m³* de concreto. Os resultados obtidos apontam para uma redução do consumo energético de 45,8% e de 72,4% para as emissões de CO₂ na produção de concreto geopolimérico em relação ao concreto de cimento Portland CP II-E.

Carvalho (2002) realizou um estudo de ACV para avaliação dos impactos ambientais associados a diferentes tipos de cimento Portland, adotando como unidade funcional 1 tonelada de cimento. Constatou-se que a substituição de clínquer por resíduos com capacidade aglomerante modifica os impactos ambientais gerados na relação inversa. Comparativamente, o cimento de melhor desempenho ambiental foi o equivalente ao CP III com 70% de escória de alto-forno, seguido pelo CP IV com 50% de cinza volante e, na sequência, o CP II com 34% de escória de alto-forno. Por fim, tem-se o CP V que, por não apresentar adição de resíduos, está associado ao maior impacto ambiental.

Mantovani et al. (2013) avaliaram o ciclo de vida de dois pilares: um de aço de perfil laminado de seção tipo “I” e um de concreto armado pré-moldado de seção 50 x 50 cm de resistência característica à compressão de 30 MPa. A unidade funcional definida consistiu nos referidos elementos dimensionados para o atendimento dos requisitos estruturais frente a mesma carga nominal máxima de compressão (3012,8 kN), considerando-se os processos de fabricação, preparo, produção, distribuição, utilização e disposição final. O pilar de aço totalizou, aproximadamente, três vezes mais impactos ambientais se comparado ao pilar de concreto pré-moldado, à exceção da categoria ecotoxicidade do solo que apresentou maior impacto associado ao pilar de concreto pré-moldado, segundo os autores, em decorrência do grande volume de calcário e argila demandados para a fabricação do cimento.

Bento et al. (2013) analisaram uma edificação com variação das classes de resistência entre C25, C30 e C35. No dimensionamento, para as classes C25 e C30, foram mantidas as dimensões dos elementos estruturais, enquanto que, para C35, as seções foram reduzidas pelo aumento da resistência. Considerando-se a unidade funcional como a edificação com a função de suporte de carga característica de 0,55 tf/m² e processos desde a produção dos insumos demandados até a demolição da estrutura, sob análise geral, concluiu-se que a classe de resistência C35 conduz aos menores impactos totais, seguida pela C30 e, por fim, pela C25. Para este estudo de caso, as categorias analisadas foram eutrofização, formação de ozônio fotoquímico, consumo de recursos materiais, consumo de recursos energéticos, ecotoxicidade, aquecimento global, toxicidade humana, acidificação e resíduos.

Variando-se os tipos de cimento entre CP I-S, CP II-E e CP III e as resistências características à compressão de 25 a 60 MPa, Saade et al. (2013) realizaram um estudo de ACV normalizando resultados conforme a resistência característica de 1 MPa e um ano de vida útil. Para tal, supôs-se um elemento estrutural linear de seção 30 x 30 cm e 300 cm de comprimento exposto a ambiente agressivo de cloretos, de classe de agressividade ambiental III, cobrimento mínimo de 3 cm e cobrimento nominal de 4 cm, com abordagem do berço ao portão. Dentre os indicadores considerados, quando da análise por unidade de resistência, verificou-se redução nos valores dos indicadores ambientais com o aumento do f_{ck} . Por sua vez, quando da análise por ano de vida útil, constatou-se que o aumento no f_{ck} ocasionou aumento na vida útil, mas, também, aumento dos indicadores ambientais potencial de aquecimento global e energia incorporada não renovável. Isso evidenciou que a melhoria no quesito vida útil não compensou o aumento das cargas ambientais quanto a esses critérios em decorrência do maior teor de clínquer demandado. Ressalta-se, portanto, a importância da consideração conjunta de ambos os aspectos para uma avaliação mais completa do ciclo de vida.

Silva, A. (2014) adotou como unidade funcional um pilar de concreto armado dimensionado para os níveis de resistência à compressão de 30 e 50 MPa, considerando-se diferentes traços de concreto dados por três tipos de cimento, CP II-Z, CP IV e CP V e uma abordagem do berço ao portão. A autora concluiu que o nível de resistência exerceu maior influência na sustentabilidade que o tipo de cimento, de forma que a melhor alternativa dentre as estudadas deu-se quando da utilização de CP IV para nível de resistência de 50 MPa.

Lamberti (2015), por sua vez, valendo-se das mesmas premissas de Silva, A. (2014), porém acrescentando as fases de uso, manutenção e reciclagem do pilar de concreto, avaliou o ciclo de vida frente à carbonatação. O aumento de resistência de 30 para 50 MPa também mostrou-se favorável, visto que, para 30 MPa, a vida útil de projeto mínima exigida por norma não foi atingida para os cimentos CP IV e CP V. Por fim, o autor não destaca um tipo de cimento em específico, pois os desempenhos obtidos não foram os mesmos para os dois níveis de resistência.

2.5 Custo do Ciclo de Vida

De acordo com a norma ISO 15686-5 (ISO, 2008), o Custo do Ciclo de Vida (CCV) consiste na quantificação do custo de um produto ou de suas partes ao longo do ciclo de vida, tendo-se em vista o atendimento aos requisitos de desempenho para os quais o mesmo foi empregado. A análise do CCV deve contemplar uma série de custos ao longo de um determinado período de interesse do ciclo de vida, tais como custos de construção, operação, manutenção e disposição final.

Evidencia-se a importância do CCV na medida em que certa solução dada por ideal com um estudo de ACV, necessita ser factível quando da consideração dos aspectos econômicos envolvidos.

Os segmentos da economia como um todo tem adotado uma postura consciente acerca de custos, com o intuito de aumentar a produtividade do capital. Governos, indústrias, serviços e consumidores podem utilizar-se dos conceitos de CCV para análises de aspectos econômicos. Contudo, as decisões não devem ser integralmente baseadas no custo, mas os custos devem, sim, ser um importante parâmetro para a tomada de decisão (SHERIF; KOLARIK, 1981).

Afirma Woodward (1997) que a abordagem do CCV contempla perspectivas em longo prazo com vistas à tomada de decisão, não se valendo apenas de uma análise em curto prazo por intermédio da compra de produtos de menor custo inicial de aquisição. O autor ainda destaca que também são ponderados custos e benefícios futuros, os quais são convertidos em valores presentes utilizando-se técnicas de desconto para a determinação do valor econômico de um determinado projeto ou conjunto de projetos. Para tanto, deve-se identificar os seguintes

elementos: custos de capital inicial, vida útil, taxa de desconto, custos de operação e manutenção, custo de destinação final, disponibilidade de informações e incertezas de análises.

Quanto à abrangência, Sherif e Kolarik (1981) ainda destacam que os estudos de CCV podem ser realizados para o ciclo de vida como um todo ou para uma combinação de fases que se pretende avaliar. A norma ISO 15686-5 (ISO, 2008) permite a quantificação do Custo de Vida Total (no inglês, *Whole-Life Cost – WLC*), uma metodologia que inclui também custos não oriundos da construção propriamente dita (custos do terreno, taxas diversas e despesas administrativas), rendimentos (vendas, tempo de inatividade, impostos sobre a edificação) além de custos que, porventura, tragam melhorias a terceiros que não aos próprios interessados.

A Figura 9 apresenta um fluxograma simplificado acerca das etapas passíveis de consideração em um CCV, aplicável ao setor da construção, a citar-se: custos de pesquisa e desenvolvimento, custos de produção e construção, custos de operação e manutenção e custos de reforma e descarte.

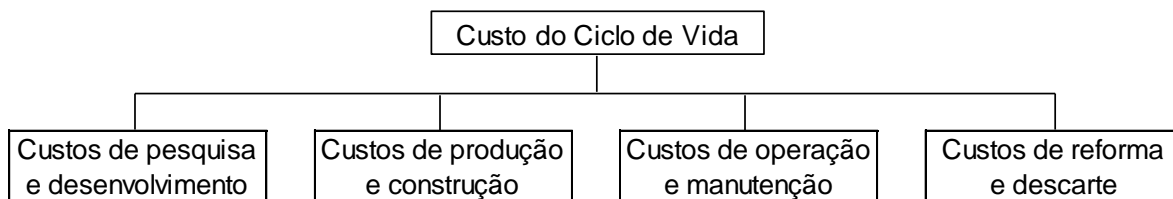


Figura 9 – Principais elementos do Custo do Ciclo de Vida

Fonte: adaptado de Dhillon (1981)

Complementando essas afirmações, Sherif e Kolarik (1981) apresentam um modelo conceitual de Custo do Ciclo de Vida amplamente utilizado, ilustrando as relações entre cada fase do custo de um sistema e o tempo, conforme consta na Figura 10. Os custos iniciais de pesquisa e desenvolvimento caracterizam-se pelos recursos associados ao desenvolvimento do produto, enquanto que os custos de investimento são as despesas necessárias para sua efetiva aplicação. Destacam-se também os custos de caráter operacional para operar, manter e reparar o produto ao longo de um período de tempo, até o fim de sua vida útil. Percebe-se, nessa

abordagem, que os custos se fazem presentes ao longo de todo o ciclo de vida, variando-se apenas suas magnitudes e seus contextos temporais.

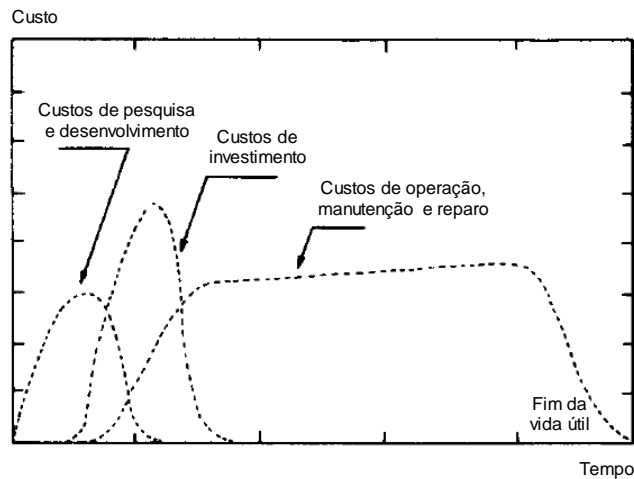


Figura 10 – Modelo conceitual de Custos do Ciclo de Vida

Fonte: adaptado de Sherif e Kolarik (1981)

Por exemplo, no setor da construção civil, os custos iniciais estão associados basicamente à equipe técnica de projetos. Os custos de investimento dizem respeito à execução da edificação, etapa essa que demanda grandes montantes sendo, na prática, por vezes, erroneamente, a única consideração feita na etapa de projeto. Evidentemente, ao longo de sua utilização, uma edificação também gera custos conforme as necessidades de seus usuários, além de requerer manutenções, tanto preventivas quanto corretivas. Ao fim, tem-se, ainda, o custo de destinação final da estrutura.

Wübbenhorst (1986) afirma que a ideia principal de uma análise de Custo do Ciclo de Vida fundamenta-se no fato que a maior parte dos custos totais é determinada nas fases iniciais do ciclo de vida. Em termos percentuais, por exemplo, após a etapa de concepção/projeto, 66% dos custos totais já foram definidos, e, após a construção, 95%. Wübbenhorst (1986) ainda afirma que, nas etapas iniciais, as informações referentes a custos, desempenho e vida útil são restritas e, por vezes, incompletas em decorrência da complexidade e do dinamismo do setor, justamente na fase em que se têm as decisões com maiores impactos em longo prazo. Contudo, destaca que os tomadores de decisão tem acesso ao conhecimento técnico capaz de embasar as decisões por intermédio de sistemas de referência e experiências previamente adquiridas. O autor atribui eventuais falhas de projeto aos

baixos custos diretamente associados a essa fase, estando os mesmos limitados à mão de obra e aos desenhos propriamente ditos, o tende a subestimar a importância das decisões prévias.

Guoguo (2009) corrobora essas questões ao destacar que muitas das definições acerca de custos são adotadas ainda na etapa de concepção estrutural, o que evidencia a importância do CCV para auxílio à tomada de decisão. Basicamente, pode-se aplicar o CCV em três níveis básicos: para análises de consumo e eficiência energética, para definições arquitetônicas e demais requisitos funcionais e, ainda, para a especificação de componentes da estrutura. O autor ainda faz uma ressalva, lembrando que a efetiva implementação do CCV requer planejamento de projeto juntamente à utilização de materiais de qualidade e práticas construtivas conforme os requisitos ambientais selecionados em estudos prévios.

Conforme Val e Stewart (2003), considerando-se que todas as questões referentes a uma estrutura possam ser quantificadas em termos monetários, a solução ótima pode ser entendida como aquela capaz de minimizar o custo do ciclo de vida da edificação. No entanto, destacam os autores, os custos podem se dar em diferentes períodos do ciclo de vida sob diferentes taxas de desconto em decorrência de conjunturas econômicas, sociais e políticas. Faz-se necessária, portanto, a conversão dos custos para o valor presente.

Para tanto, a norma ISO 15686-5 (ISO, 2008) destaca a metodologia do Valor Presente Líquido (VPL, no inglês, *Net Present Value* - NPV) como a mais utilizada para análises de CCV, permitindo a estimativa do valor presente de um custo futuro. O VPL é apresentado na equação 1.

$$VPL = \sum(C_n \cdot q) = \sum_{n=1}^p \frac{C_n}{(1+d)^n} \quad (1)$$

Sendo:

VPL = valor presente líquido;

C = custo em um ano n ;

q = taxa de desconto;

d = taxa de desconto real ao ano;

n = número de anos entre a data base e o custo em análise;

p = período de análise.

De acordo com a referida norma ISO 15686-5 (ISO, 2008), comumente, estudos de CCV são utilizados com as seguintes finalidades:

- avaliação de diferentes situações na fase de planejamento de investimentos;
- escolha entre diferentes alternativas, considerando-as como um todo ou uma porção em específico na fase de projeto e construção;
- escolha de componentes alternativos com desempenho aceitável durante a construção e posterior utilização;
- análise comparativa de procedimentos pré-estabelecidos, em nível individual ou estratégico;
- estimativa de custos futuros para fins orçamentários ou de aceitabilidade da alternativa.

Simões et al. (2013) destacam a importância da integração das metodologias de Avaliação do Ciclo de Vida e Custo do Ciclo de Vida ainda na etapa de projeto com vistas à sustentabilidade. A sinergia entre ambos permite a seleção adequada de materiais com base em critérios ambientais e econômicos, além de propor um repensar às empresas acerca do desempenho de seus produtos, serviços e estratégias vigentes.

Norris (2001) realizou uma análise comparativa acerca da ACV e do CCV, a qual se encontra apresentada no Quadro 4 a seguir.

Método	Avaliação do Ciclo de Vida	Custo do Ciclo de Vida
Objetivo	Comparar o desempenho ambiental de sistemas de produtos de mesma função	Determinar o custo de investimentos alternativos, sob a ótica de um tomador de decisão econômica
Fluxo	Poluentes, recursos naturais e processos de materiais e energia	Custos diretos e benefícios
Unidade	Física e de energia	Monetária
Tempo	Não há temporização, fluxos interconectados independentemente do tempo	Há temporização, com conversão de custos futuros em custos presentes

Quadro 4 – Comparativo entre Avaliação do Ciclo de Vida e Custo do Ciclo de Vida

Fonte: adaptado de Norris (2001)

Norris (2001) afirma que uma ACV sem a avaliação de CCV apresenta três principais implicações: tem-se apenas os parâmetros da ACV para a tomada de decisão; não se tem a percepção da integração entre impactos ambientais e custos, suas compensações e inter-relações; por fim, pode-se dispor de uma solução ambientalmente sustentável, porém economicamente onerosa. Isso porque, as metodologias são complementares entre si, pois, segundo o referido autor, ACV e CCV fornecem respostas a diferentes perguntas. Enquanto que a ACV avalia o desempenho ambiental de sistemas e produtos alternativos que cumprem a mesma função quanto à utilização, o CCV avalia a eficácia em termos de custos, sob a ótica de um tomador de decisão econômica, a exemplo de uma empresa ou de um consumidor.

Considerando-se a integração entre ambas as metodologias, tem-se a consideração concomitante dos efeitos ambientais e econômicos de uma edificação em longo prazo. O maior foco na responsabilidade ambiental pela construção civil, dessa forma, demonstra a importância de decisões fundamentadas em critérios técnicos e o maior destaque ao processo de tomada de decisão, o que se torna possível quando da avaliação conjunta entre ACV e CCV.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo, detalha-se o roteiro metodológico seguido para a realização da presente pesquisa. Inicialmente, discorre-se acerca da edificação utilizada para a elaboração do projeto estrutural. Na sequência, apresentam-se os critérios de projeto considerados e os materiais empregados para o estudo de dosagem experimental em laboratório, com os respectivos traços unitários de concreto resultantes. Por fim, são detalhados os procedimentos para a Avaliação do Ciclo de Vida e o Custo do Ciclo de Vida.

3.1 Descrição da edificação

Primeiramente, selecionou-se o projeto arquitetônico a ser utilizado para os estudos pretendidos na presente dissertação. Trata-se de uma edificação residencial multifamiliar, executável na cidade de Santa Maria – RS, composta pelos pavimentos subsolo e térreo destinados a estacionamento, seis pavimentos-tipo destinados a habitação, cobertura e reservatório superior para fins de armazenamento de água, perfazendo uma área construída total de 2.000 m². Os pavimentos-tipo são compostos por duas unidades autônomas cada, totalizando-se doze apartamentos na edificação. Para fins ilustrativos segue, na Figura 11 abaixo, o modelo tridimensional da edificação.

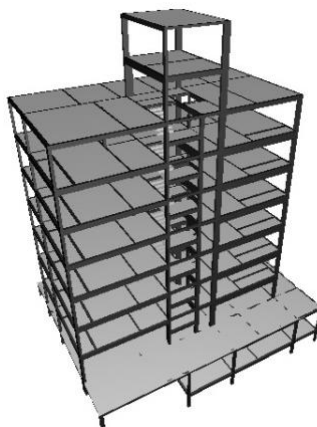


Figura 11 – Modelo tridimensional da edificação

Fonte: pórtico 3D do *software* Eberick

O conjunto de plantas baixas para a caracterização da edificação segue apresentado no Apêndice A.

3.2 Projeto estrutural

Definidos os detalhamentos arquitetônicos, procedeu-se o projeto estrutural da edificação, iniciando-se pela concepção da estrutura, etapa na qual foram alocados pilares, vigas, lajes e escadas. Como ferramenta de desenho e de cálculo, foi utilizado o *software* de análise e dimensionamento estrutural Eberick versão V9, amplamente empregado nos meios acadêmico e profissional.

Para a análise da estrutura, constituiu-se um modelo estrutural que, conforme Kimura (2007), consiste em um protótipo computacional para a simulação da edificação real. Com a análise estrutural, foram determinados os esforços solicitantes e os deslocamentos, valendo-se de modelos matemáticos com diversas considerações e hipóteses conforme os requisitos normativos.

Para o presente estudo de caso, foi considerado o esqueleto estrutural tradicional composto por pilares, vigas, lajes maciças e escadas de concreto armado moldados *in loco*. Como simplificação de projeto, não foram lançados os elementos de rampa pela indisponibilidade do respectivo módulo no *software*, sendo, dessa forma, suposto seu descarregamento diretamente nos pilares de apoio.

Na etapa de pré-dimensionamento, os pilares tiveram suas dimensões iniciais estimadas conforme o método das áreas de influência, sendo dispostos primeiramente nos pavimentos-tipo e, na sequência, verificando-se a adequação nos pavimentos subsolo e térreo, de maneira a assegurar a estabilidade estrutural com a manutenção dos padrões estéticos e do número de boxes de garagem previstos no projeto arquitetônico. Em seguida, foram lançadas as vigas cujas dimensões inicialmente estimadas para as bases foram variadas conforme as respectivas espessuras das paredes e os blocos cerâmicos disponíveis na região – 19 cm para vigas de suporte de paredes externas e 14 cm para vigas de suporte de paredes internas – e, para as alturas, valeu-se da relação usual “vão/10” a “vão/12”. Por fim, foram definidos os elementos de laje, com alturas iniciais estimadas em 10 cm para

os pavimentos-tipo, térreo e subsolo e 7 cm para as coberturas, além dos elementos de escada.

3.2.1 Caracterização das ações

Realizou-se o levantamento das ações atuantes, classificando-as conforme sua manifestação na estrutura. Foram consideradas as ações verticais permanentes decorrentes dos pesos próprios dos elementos estruturais e as ações adicionais oriundas dos pesos de alvenarias, de revestimentos e de caixas da água. Também foram inclusos os carregamentos acidentais oriundos da utilização da edificação, exigência da NBR 6120 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações (ABNT, 2000), conforme apresentado abaixo, na Tabela 4.

Tabela 4 – Carregamentos acidentais

Utilização	Carregamento (kgf/m ²)
Casa de máquinas	750
Corredores com acesso ao público	300
Corredores sem acesso ao público	200
Edifícios residenciais dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro	150
Edifícios residenciais despensa, área de serviço e lavanderia	200
Escadas sem acesso ao público	250
Garagens e estacionamentos	300
Terraços inacessíveis a pessoas	50

Fonte: adaptado de ABNT (2000)

Como ação horizontal, foi contabilizada a ação do vento, conforme as diretrizes estabelecidas pela NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações (ABNT, 2013a). Por tratar-se de uma edificação executável na cidade de Santa Maria – RS, foi considerada uma ação de vento de velocidade básica com a magnitude de $V_0 = 44$ m/s, valor obtido nas isopletras contidas na referida norma. Também em decorrência da localização hipotética estabelecida, para caracterização do fator topográfico, atribuiu-se $S1 = 1,00$, característico de terreno plano com

poucas ondulações. Para o fator S2, o qual considera rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno, a rugosidade foi enquadrada como categoria IV, referente a terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona urbanizada, e as dimensões da edificação permitiram a classificação na classe B, visto que a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal situa-se na faixa de 20 a 50 m. Por fim, para a determinação do fator estatístico S3, enquadrou-se o edifício no grupo 2, tendo-se em vista que se trata de uma edificação residencial, de forma que $S3 = 1,00$.

Caracterizadas todas as ações, é importante destacar que suas análises de forma isolada não revelam os reais efeitos na estrutura, posto que a maioria das solicitações atuam concomitantemente ao longo da vida útil da edificação. Em decorrência disso, o *software* utiliza coeficientes de ponderação para a realização de combinações de ações, que, de acordo com Vasconcelos (2012) simulam as condições mais desfavoráveis à segurança estrutural de forma tal que as ações permanentes sejam sempre consideradas juntamente às ações variáveis que provoquem efeitos desfavoráveis nos elementos estruturais.

3.2.2 Parâmetros normativos para o concreto

Ainda na etapa de projeto estrutural, é necessário fazer ponderações acerca das propriedades dos materiais a serem empregados.

Em conformidade com o preconizado pela NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento (ABNT, 2014a), atribuiu-se Classe de Agressividade Ambiental II, característica de ambientes urbanos de agressividade moderada e pequeno risco de deterioração da estrutura. Em decorrência disso, a exigência normativa para concreto armado é que se utilize uma relação água/cimento menor ou igual a 0,60 e um concreto de classe C25 ou superior. Por fim, a classe de agressividade ambiental condicionou o cobrimento nominal dos elementos estruturais: 25mm para lajes e 30mm para pilares e vigas em geral, além de 30 mm para lajes e vigas e 45 mm para pilares quando em contato com o solo.

Tendo-se em vista esses aspectos, foram elaborados dois modelos estruturais para a edificação, considerando-se as prescrições apresentadas,

variando-se a resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}) em 30 e 50 MPa para as análises pretendidas.

3.2.3 Análise e dimensionamento estrutural

A etapa seguinte consistiu na análise e no dimensionamento dos elementos estruturais que compõem a edificação pelo *software*, com o emprego do modelo de pórtico espacial. De acordo com o tutorial do *software* Eberick (S3ENG – TECNOLOGIA APLICADA À ENGENHARIA S/A, 2015), o cálculo da estrutura é iniciado pelas lajes, conforme configurações prévias; as reações das lajes são transferidas às vigas de apoio; o pórtico espacial é montado e processado e as solicitações são utilizadas no detalhamento de pilares, vigas e lajes. É importante salientar que, de acordo com Kimura (2007), o modelo de pórtico espacial consiste em um modelo tridimensional que permite uma avaliação bastante completa e eficiente do comportamento global da estrutura, possibilitando a consideração de ações horizontais, estabilidade global, não linearidade e imperfeições geométricas.

Foram realizados sucessivos processamentos de forma iterativa, buscando-se as menores seções possíveis para os elementos estruturais. Isso porque uma das premissas da sustentabilidade fundamenta-se na racionalização no consumo de materiais e, também, para que os modelos estruturais de f_{ck} 30 e 50 MPa sejam passíveis de comparações entre si.

Conforme indica a NBR 6118 (ABNT, 2014a), os modelos estruturais foram analisados e seus elementos estruturais dimensionados em observância ao Estado Limite Último (ELU) e ao Estado Limite de Serviço (ELS). Para atendimento do ELU, buscaram-se seções para os elementos de maneira tal que as solicitações fossem inferiores às resistências de cálculo, não resultando em erros de dimensionamento no *software*. Por sua vez, em relação ao ELS, foram ponderadas questões referentes ao desempenho da estrutura em serviço, por intermédio da limitação de deslocamentos horizontais, flechas nos elementos estruturais, vibrações excessivas e abertura de fissuras, conforme exigências normativas. Para atendimento do requisito de aceitabilidade sensorial nos elementos estruturais que apresentaram

flechas excessivas, foram consideradas contra flechas respeitando-se o limite $L/350$, sendo L o vão em questão.

Analisando-se os deslocamentos horizontais, verificou-se a adequação dos deslocamentos frequentes em cada direção em relação ao valor limite de 1,74 cm para a edificação, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Deslocamentos horizontais

Resistências	Deslocamento limite (L/1700)	Deslocamentos frequentes
30 MPa	1,74 cm	direção x = 0,72 cm
		direção y = 1,74 cm
50 MPa	1,74 cm	direção x = 0,74 cm
		direção x = 1,53 cm

Fonte: adaptado do relatório de deslocamentos horizontais do *software* Eberick

Além disso, um importante parâmetro estrutural a ser observado consiste no coeficiente γ_z , indicativo da magnitude dos efeitos de segunda ordem globais da estrutura, isto é, dos efeitos gerados à estrutura quando sua posição de equilíbrio passa a ser na configuração deformada em decorrência dos deslocamentos horizontais obtidos. Para o presente estudo, os coeficientes γ_z resultantes de cada modelo estrutural, em cada direção, estão apresentados na Tabela 6 a seguir.

Tabela 6 – Coeficientes γ_z

Resistências	γ_z direção x	γ_z direção y
30 MPa	1,15	1,12
50 MPa	1,14	1,11

Fonte: adaptado do relatório de estabilidade global do *software* Eberick

Em termos numéricos, os valores dos coeficientes γ_z obtidos são maiores que 1,10, indicativo, de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014a), que os deslocamentos horizontais são relevantes e, conseqüentemente, que os efeitos de segunda ordem devem ser considerados, pois são superiores a 10% dos efeitos de primeira ordem. Assim sendo, o *software*, quando da análise estrutural, realizou a majoração dos esforços horizontais para o atendimento à referida exigência normativa. Os valores do coeficiente γ_z estão de acordo com a norma pertinente, tendo-se em vista serem

menores que 1,30. Valores além do limite de 1,30 caracterizam estruturas instáveis, não podendo os efeitos globais de segunda ordem serem avaliados pelo coeficiente γ_z .

Após o término dos processamentos frente às considerações apresentadas, obtiveram-se os modelos de pórtico espacial para f_{ck} 30 e 50 MPa que constituem a superestrutura da edificação composta por um conjunto de elementos estruturais. Então, na sequência, foram extraídos os relatórios de processamento contendo os resumos de materiais, ou seja, os quantitativos de concreto, aço e formas necessários à execução de vigas, pilares, lajes e escadas para cada nível de resistência característica do concreto, conforme apresentado na Tabela 7. Os quantitativos detalhados por pavimento e por elemento estrutural gerados pelo *software* seguem no Apêndice B e, no Apêndice C, estão apresentadas as plantas de formas do pavimento-tipo por se tratar do pavimento característico da edificação.

Tabela 7 – Consumos de materiais por nível de resistência para a edificação

Resistências	Materiais	Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Total
30 MPa	Concreto (m ³)	92,6	36,4	157,9	10,4	297,3
	Aço (kg)	13.764,2	10.609,9	8.210,0	628,2	33.212,3
	Formas (m ²)	1.389,6	567,0	1.602,5	119,8	3.678,8
50 MPa	Concreto (m ³)	89,4	32,4	157,7	10,4	289,9
	Aço (kg)	12.356,0	6.899,1	7.819,3	507,6	27.582,0
	Formas (m ²)	1.353,3	527,0	1.602,2	119,8	3.602,3

Fonte: adaptado do relatório de consumo de materiais do *software* Eberick

Os quantitativos totais de materiais revelaram maiores demandas por concreto, aço e formas quando da opção por concreto de resistência 30 MPa em relação a 50 MPa, respectivamente, por material, 2,6%, 20,4% e 2,1%. Comparativamente, as maiores diferenças percentuais foram constatadas nos elementos de pilares: 12,3% para concreto, 53,8% para aço e 7,6% para formas, o que pode ser atribuído aos esforços de compressão predominantemente atuantes nesses elementos.

Portanto, quanto ao critério consumo de materiais, a melhor alternativa é constituída pela edificação com resistência de 50 MPa. Contudo, para uma análise completa, são necessárias ponderações adicionais acerca dos impactos ambientais

com a consideração paralela dos custos das alternativas, de acordo com as metodologias de Avaliação do Ciclo de Vida e de Custo do Ciclo de Vida.

Conforme indicação das Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO, 2008), para as análises de custos (e conseqüentemente de impactos ambientais, para igualdade de condições), foram considerados coeficientes de majoração no consumo dos materiais, contabilizando-se eventuais incorporações de materiais à estrutura e perdas inerentes aos processos de execução: 5% para concreto, 10% para aço (majoração já incluída nos quantitativos gerados pelo *software*, conforme consta no Apêndice B) e 25% para formas.

3.3 Concreto – materiais e dosagem

Conforme apresentado em Silva, A. (2014) e em Lamberti (2015), foram realizados estudos de dosagem para as resistências características à compressão axial do concreto de 30 e de 50 MPa. Os materiais utilizados e suas respectivas caracterizações, bem como os princípios de dosagem empregados estão apresentados a seguir.

3.3.1 Materiais cimentícios

Para o presente estudo, foram considerados dois tipos de cimento: cimento Portland composto CP II-Z e cimento Portland pozolânico CP IV, ambos de fabricação nacional, classe de resistência 32 MPa, referentes às normas NBR 11578 – Cimento Portland composto – Especificação (ABNT, 1997b) e NBR 5736 – Cimento Portland pozolânico (ABNT, 1999), respectivamente. Essa escolha justificase por serem esses os tipos de cimentos mais comumente empregados na região de Santa Maria – RS para tipologias semelhantes à edificação considerada. Silva, A. (2014) e Lamberti (2015) ainda incluíram em suas análises o cimento Portland de alta resistência inicial CP V-ARI, o qual não foi contemplado pelo escopo desta pesquisa.

Os materiais cimentícios foram submetidos aos ensaios listados a seguir para sua caracterização:

- i. composição granulométrica por difração a laser, dimensão média e dimensões equivalentes a 10 e 90% de partículas passantes;
- ii. composição química completa: perda ao fogo, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , Na_2O , K_2O , TiO_2 , SrO , P_2O_5 , Mn_2O_3 , CaO (livre), resíduo insolúvel, CO_2 e equivalente alcalino em Na_2O ;
- iii. massa específica absoluta, utilizando o frasco volumétrico de Le Chatelier, conforme a NBR NM 23 – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica (ABNT, 2001a);
- iv. finura, conforme a NBR 11579 – Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira $75\ \mu\text{m}$ (n° 200) (ABNT, 2013b);
- v. água da pasta de consistência normal, conforme a NBR NM 43 – Cimento Portland – Determinação da pasta de consistência normal (ABNT, 2003a);
- vi. tempo de início e de fim de pega, utilizando o aparelho de Vicat, conforme a NBR NM 65 – Cimento Portland – Determinação do tempo de pega (ABNT, 2003b);
- vii. resistência à compressão axial da argamassa normal aos 3, 7 e 28 dias, conforme a NBR 7215 – Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão (ABNT, 1997a).

A Figura 12 apresenta as curvas granulométricas e a Tabela 8 os valores de dimensões médias e equivalentes a 10 e 90% de partículas passantes dos cimentos CP II-Z e CP IV.

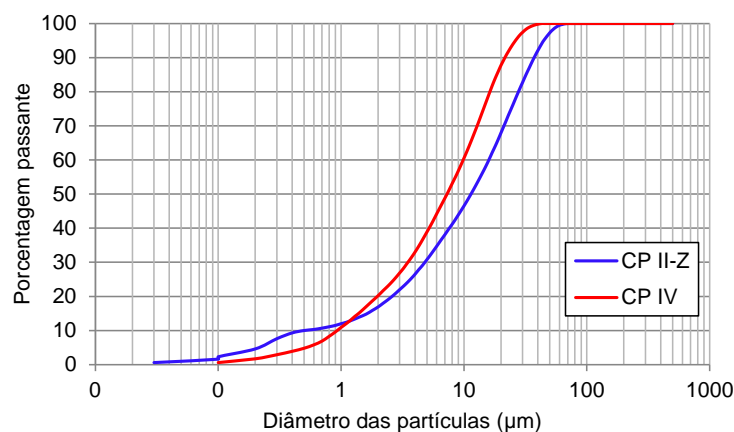


Figura 12 – Composição granulométrica dos cimentos CP II-Z e CP IV

Fonte: adaptado do relatório de ensaios da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2013)

Tabela 8 – Dimensões médias e dimensões equivalentes a 10 e 90% de partículas passantes

Cimentos	Dimensão média das partículas (μm)	Diâmetro abaixo do qual se encontram 10% das partículas (μm)	Diâmetro abaixo do qual se encontram 90% das partículas (μm)
CP II-Z	11,41	0,51	37,32
CP IV	7,27	0,93	21,56

Fonte: adaptado do relatório de ensaios da ABCP (2013)

A seguir, a Tabela 9 apresenta os resultados de caracterização química dos cimentos CP II-Z e CP IV, comparativamente aos limites estabelecidos por norma. Percebe-se que, para o CP II-Z, o parâmetro resíduo insolúvel e, para o CP IV, os parâmetros perda ao fogo e anidrido carbônico encontram-se acima dos valores recomendados pelas normas pertinentes. O resíduo insolúvel pode ser justificado pelos teores de compostos silico-aluminosos contidos na matéria-prima e, por sua vez, a perda ao fogo e o anidrido carbônico são decorrentes, possivelmente, do tempo de estocagem do cimento, pela penetração de umidade através dos materiais dos sacos.

Tabela 9 – Caracterização química dos cimentos CP II-Z e CP IV (continua)

Ensaio	% em massa			
	CP II-Z	Limites NBR 11578:1997	CP IV	Limites NBR 5736:1999
Perda ao fogo - PF	5,15	$\leq 6,50$	7,00	$\leq 4,50$
Dióxido de silício total - SiO_2	28,14	-	32,61	-
Óxido de alumínio - Al_2O_3	9,14	-	8,79	-
Óxido de ferro - Fe_2O_3	2,60	-	4,34	-
Óxido de cálcio total - CaO	45,09	-	38,12	-
Óxido de magnésio - MgO	5,18	$\leq 6,50$	5,04	$\leq 6,50$
Anidrido sulfúrico - SO_3	2,23	$\leq 4,00$	1,97	$\leq 4,00$
Óxido de sódio - Na_2O	0,13	-	0,20	-
Óxido de potássio - K_2O	1,26	-	1,39	-
Óxido de titânio - TiO_2	0,44	-	0,41	-
Óxido de estrôncio - SrO	0,07	-	0,04	-
Pentóxido de fósforo - P_2O_5	0,10	-	0,10	-
Óxido de manganês - Mn_2O_3	0,06	-	0,10	-

Tabela 9 – Composição química dos cimentos CP II-Z e CP IV (conclusão)

Ensaio	% em massa			
	CP II-Z	Limites NBR 11578:1997	CP IV	Limites NBR 5736:1999
Óxido de cálcio livre - CaO (livre)	1,57	-	1,93	-
Resíduo insolúvel - RI	23,00	≤ 16,00	34,27	-
Anidrido carbônico - CO ₂	4,99	≤ 5,00	4,89	≤ 3,00
Equivalente alcalino em Na ₂ O (0,658 x K ₂ O% + Na ₂ O%)	0,96	-	1,11	-

Fonte: adaptado do relatório de ensaios da ABCP (2013)

Por fim, os resultados de caracterização física e mecânica dos cimentos CP II-Z e CP IV estão apresentados na Tabela 10, na qual se pode verificar a adequação de todos os parâmetros em relação às prescrições normativas.

Tabela 10 – Caracterização física e mecânica dos cimentos CP II-Z e CP IV

Ensaio	CP II-Z	Limites NBR 11578:1997 classe 32	CP IV	Limites NBR 5736:1999	
Massa específica (g/cm ³)	2,95	-	2,70	-	
Índice de finura #0,075 mm (% retida)	0,20	≤ 12,0	0,20	≤ 8,0	
Finura Blaine (cm ² /g)	3670	≥ 2600	4340	-	
Consistência normal (%)	27,4	-	30,0	-	
Início de pega (min)	200	≥ 60	223	≥ 60	
Fim de pega (min)	239	≤ 600	264	≤ 720	
Resistência à compressão axial da argamassa normal (MPa)	3 dias	29,23	≥ 10,0	20,98	≥ 10,0
	7 dias	29,59	≥ 20,0	25,27	≥ 20,0
	28 dias	38,11	≥ 32,0	33,09	≥ 32,0

Fonte: adaptado de Silva, A. (2014)

3.3.2 Agregados

Os agregados miúdos e graúdos utilizados são naturais e provenientes da região: areia média do Rio Vacacaí de Santa Maria – RS e pedra britada diabásica

de pedra da cidade de Itaara – RS, ambos submetidos a lavagem e estocagem em baias. Tomou-se a fração de agregado miúdo entre as peneiras # 4,75 e # 0,15 mm e de agregado graúdo entre as peneiras # 19 e # 4,75 mm.

Os agregados foram submetidos aos ensaios abaixo listados para sua caracterização:

- i. composição granulométrica, conforme a NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003c);
- ii. massa específica e aparente do agregado miúdo, determinando volume e massa, conforme a NBR NM 52 – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente (ABNT, 2009b);
- iii. massa específica e aparente do agregado graúdo, determinando volume e massa, conforme a NBR NM 53 – Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água (ABNT, 2009c);
- iv. massa unitária e volume de vazios dos agregados, conforme a NBR NM 45 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios (ABNT, 2006);
- v. abrasão Los Angeles do agregado graúdo, conforme a NBR NM 51 – Agregado graúdo – Ensaio de abrasão “Los Angeles” (ABNT, 2001c);
- vi. absorção de água do agregado miúdo, conforme a NBR NM 30 – Agregado miúdo – Determinação da absorção de água (ABNT, 2001b);
- vii. absorção de água do agregado graúdo, conforme a NBR NM 53 – Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água (ABNT, 2009c);
- viii. índice de forma do agregado graúdo, conforme a NBR 7809 – Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio (ABNT, 2008).

A Figura 13 apresenta a curva granulométrica do agregado miúdo utilizado e as curvas indicativas das zonas de enquadramento da areia em zona ótima e zona utilizável, conforme a NBR 7211 – Agregados para concreto – Especificação (ABNT, 2009a). Percebe-se que a fração fina do material em análise está situada na zona ótima e a fração grossa na zona utilizável.

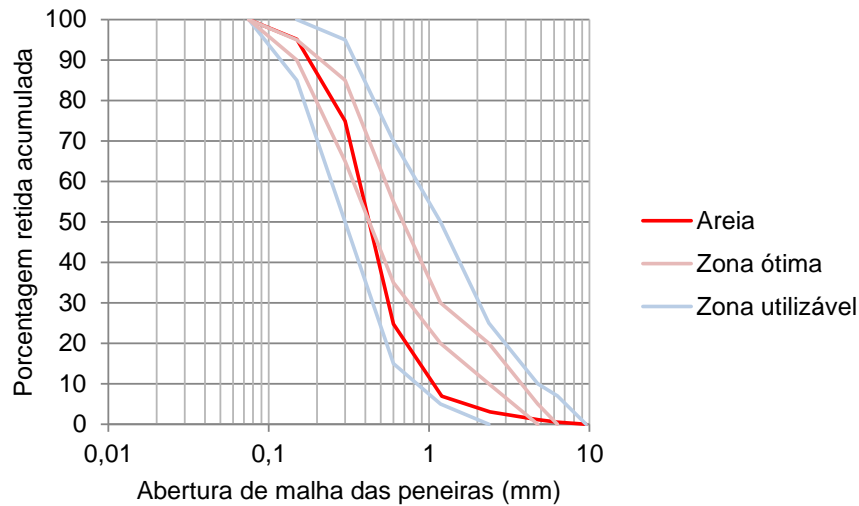


Figura 13 – Composição granulométrica do agregado miúdo

Fonte: adaptado de Silva, A. (2014)

Por sua vez, a Figura 14 apresenta a curva granulométrica do agregado graúdo utilizado e as curvas indicativas das zonas de enquadramento da brita em brita 0, 1, 2, 3 ou 4, conforme a NBR 7211 – Agregados para concreto – Especificação (ABNT, 2009a). Percebe-se que o material em análise pode ser classificado na faixa entre brita 1 e brita 2.

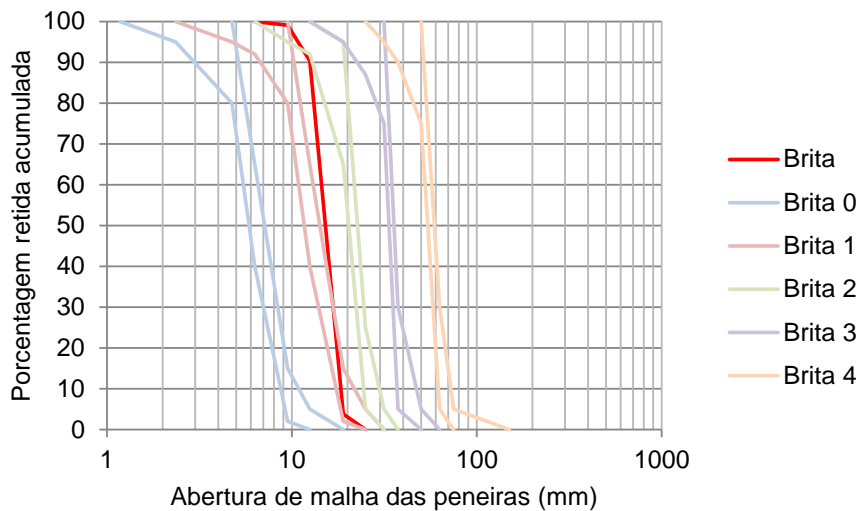


Figura 14 – Composição granulométrica do agregado graúdo

Fonte: adaptado de Silva, A. (2014)

Por fim, os resultados de caracterização física dos agregados estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Caracterização física dos agregados miúdo e graúdo

Propriedades	Agregado miúdo	Agregado graúdo
Massa específica (g/cm ³)	2,65	2,49
Massa unitária (g/cm ³)	1,70	1,41
Perda por abrasão <i>Los Angeles</i> (%)	-	11,04
Absorção de água (%)	0,31	2,51
Índice de forma	-	2,81
Módulo de finura	2,06	7,03
Diâmetro máximo característico	2,36	19,00

Fonte: adaptado de Silva, A. (2014)

3.3.3 Aditivos químicos redutores de água

Para fins de melhoria na trabalhabilidade do concreto, foram utilizados aditivos químicos: inicialmente um aditivo plastificante polifuncional e, quando da sua dosagem insuficiente, fez-se uso de um aditivo superplastificante.

Os aditivos foram submetidos aos ensaios abaixo listados para sua caracterização:

- i. densidade pelo método do picnômetro;
- ii. valor do pH pelo phametro;
- iii. compatibilidade com os cimentos CP II-Z e CP IV puros pelo ensaio do funil de Marsh com as três relações água/cimento adotadas. Os ensaios foram iniciados com teor de 0,2% de aditivo, com sucessivos incrementos de 0,2% até, pelo menos, 50% acima do recomendado pelo fabricante. Os tempos de escoamento foram determinados após 5 e 60 min das misturas;
- iv. desempenho dos aditivos para concreto, conforme a NBR 11768 – Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos (ABNT, 2011).

Os resultados de densidade, pH e percentual de sólidos dos aditivos estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Caracterização dos aditivos plastificante e superplastificante

Propriedades	Plastificante	Superplastificante
Densidade (g/cm ³)	1,20	1,09
pH	8,30	6,70
Percentual de sólidos (%)	40,00	50,00

Fonte: adaptado de Silva, A. (2014)

Para os ensaios de compatibilidade cimento-aditivo, utilizou-se o funil de Marsh no qual se cronometra o tempo que uma dada quantia de pasta de cimento requer para escoar por um funil de pequena abertura após 5 e 60 minutos da mistura dos materiais. Aitcin (1998) afirma que, ao plotar-se em um gráfico do teor de aditivo (em termos percentuais em relação à massa de cimento) x tempo de escoamento (em segundos), a tendência é a composição de uma curva dotada de, basicamente, dois trechos de diferentes declividades. Sua interseção define o ponto de saturação em que, segundo o autor, incrementos na dosagem do superplastificante não resultam efeitos reológicos da pasta.

Para relações água/cimento intermediárias de 0,475, o cimento CP II-Z apresentou ponto de saturação de 1% para o aditivo plastificante, enquanto que, para relações água/cimento de 0,350, fez-se necessário o uso de aditivo superplastificante, sendo obtido um teor ideal de 0,8%. Para o cimento CP IV, os ensaios foram realizados a partir do teor de 0,8% de aditivo plastificante para relações água/cimento de 0,475, visto que valores menores não resultaram em fluidez suficiente. Para ambos os cimentos, na relação o água/cimento de 0,650, obteve-se tempo de escoamento constante para 1% de aditivo plastificante.

3.3.4 Concreto

Empregou-se estudo de dosagem semelhante ao apresentado por Silva, A. (2014) e Lamberti (2015), baseado em estudos teóricos e experimentais, partindo-se de duas resistências características do concreto, 30 e 50 MPa, dois tipos de cimento, CP II-Z e CP IV, três relações água/cimento, 0,350; 0,475; e 0,650, e abatimento do tronco de cone de 100±20mm. Quando da constatação de falta de

consistência, promoveu-se a compensação com a utilização de aditivo plastificante e, quando da sua dosagem insuficiente, empregou-se aditivo superplastificante.

A dosagem do concreto foi realizada para as resistências características (f_{ck}) de 30 e 50 MPa, com um desvio padrão inicial (S_d) de 4 MPa, pois, conforme a NBR 12655 – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle recebimento e aceitação (ABNT, 2015b), o cimento e os agregados foram medidos em massa e a água medida em massa ou em volume, havendo correção da quantia de água em função da umidade dos agregados. Dessa forma, conforme a equação 2 abaixo, a resistência média de dosagem aos 28 dias (f_{c28}) foi de 36,6 e 56,6 MPa.

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 S_d \quad (2)$$

Sendo:

f_{cj} = resistência média do concreto à compressão para idade de j dias (MPa);

f_{ck} = resistência característica do concreto à compressão (MPa);

S_d = desvio padrão de dosagem (MPa).

De acordo com o método de dosagem proposto por Helene e Terzian (1992), experimentalmente, definiu-se a relação água/materiais secos H (kg/kg) em 8,22% e o teor de argamassa seca α (kg/kg) em 0,50 e, então, foram determinados os traços unitários de concreto $1:a:p$ a/c (kg) para cada relação água/cimento.

Para cada tipo de cimento foram obtidos três traços por se tratarem de três relações água/cimento e, para cada traço de concreto, foram moldados três corpos de prova cilíndricos 10 x 20 cm posteriormente submetidos à cura úmida por 28 dias conforme recomendações da NBR 5738 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (ABNT, 2015a). Na sequência, os corpos de prova sofreram processo de capeamento com enxofre e foram ensaiados à resistência à compressão axial, conforme determina a NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos (ABNT, 2007).

De posse dos resultados, procedeu-se o traçado da curva de Abrams (relação água/cimento x resistência à compressão), onde se pode constatar a necessidade, para o cimento CPIV, de redução da relação água/cimento de 0,350 para 0,300 em decorrência da resistência mecânica aquém ao esperado.

Dessa maneira, seguem, na Tabela 13, os traços de concreto e as respectivas resistências médias à compressão axial aos 28 dias.

Tabela 13 – Traços de concreto e resistências médias à compressão aos 28 dias

Tipo de cimento	Traço unitário 1:a:p (kg)	a/c (kg/kg)	Aditivo (% sobre a massa de cimento)	Resistência média à compressão axial aos 28 dias (MPa)	Abatimento (mm)
CP II-Z	1:1,14:2,12	0,350	0,4 (superplastificante)	60,3	100
	1:1,90:2,88	0,475	-	41,3	80
	1:2,97:3,94	0,650	-	21,3	100
CP IV	1:0,83:1,82	0,300	0,6 (superplastificante)	62,3	80
	1:1,90:2,88	0,475	-	32,7	80
	1:2,97:3,94	0,650	-	16,7	100

Fonte: adaptado de Silva, A. (2014)

Com base nesses resultados, traçaram-se as curvas de Abrams, abaixo apresentadas na Figura 15, juntamente às respectivas equações e coeficientes de determinação r^2 .

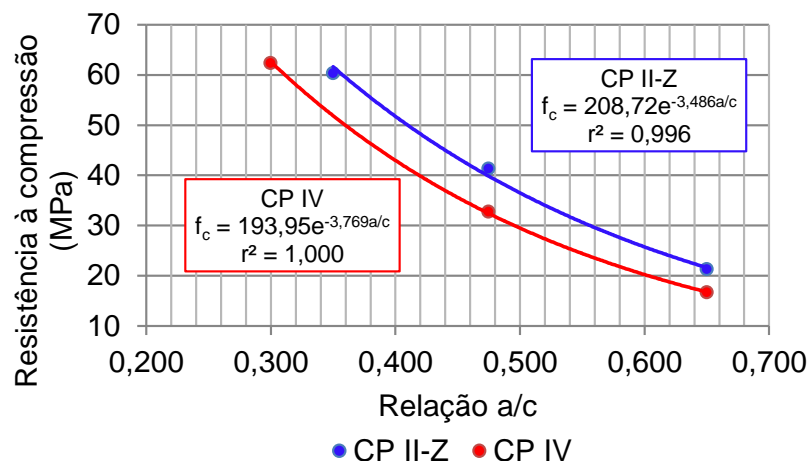


Figura 15 – Curvas de Abrams

Fonte: adaptado de Silva, A. (2014)

De posse das curvas de Abrams, determinou-se, para cada resistência de dosagem inicialmente definida em 36,6 e 56,6 MPa, a relação água/cimento requerida. Calcularam-se, então, os traços unitários definitivos apresentados na Tabela 14 a seguir, a partir dos quais se procedeu nova moldagem para verificação do atendimento das resistências e determinação do teor de aditivo. Para fins de

simplificação de nomenclatura, os traços de concreto foram designados pela sigla indicativa do tipo de cimento (II ou IV) seguida pelo nível de resistência (30 ou 50).

Tabela 14 – Traços unitários de concreto definitivos e consumos de cimento

Traço	Traço unitário 1:a:p (kg)	a/c (kg/kg)	Consumo de cimento (kg/m ³)	Aditivo (% sobre a massa de cimento)
II30	1:2,05:3,03	0,500	353	-
II50	1:1,29:2,27	0,375	473	0,3 (superplastificante)
IV30	1:1,70:2,68	0,442	395	0,2 (plastificante)
IV50	1:1,00:1,98	0,327	535	0,4 (superplastificante)

Fonte: adaptado de Silva, A. (2014)

A partir dessas informações, pode-se, por fim, determinar o consumo dos demais materiais para cada tipo de cimento e cada resistência, conforme consta na Tabela 15 a seguir.

Tabela 15 – Consumos de materiais por m³

Traço	Cimento (kg/m ³)	Areia (kg/m ³)	Brita (kg/m ³)	Água (kg/m ³)	Aditivo (kg/m ³)
II30	353	725	1.071	177	-
II50	473	611	1.075	178	1,42 (superplastificante)
IV30	395	672	1.059	175	0,79 (plastificante)
IV50	535	535	1.059	175	2,14 (superplastificante)

Fonte: adaptado de Silva, A. (2014)

3.4 Avaliação do Ciclo de Vida

De posse dos quantitativos de materiais – concreto (m³), aço (kg) e formas (m²) – para cada nível de resistência da edificação obtidos no projeto estrutural e dos consumos dos componentes do concreto (kg/m³) – cimento, areia, brita, água e aditivo – obtidos no estudo de dosagem, determinou-se o total demandado, por insumo, para a execução da estrutura.

A etapa seguinte consistiu na Avaliação do Ciclo de Vida, a qual foi realizada com base nas dissertações de Silva, A. (2014) e Lamberti (2015), estando seu

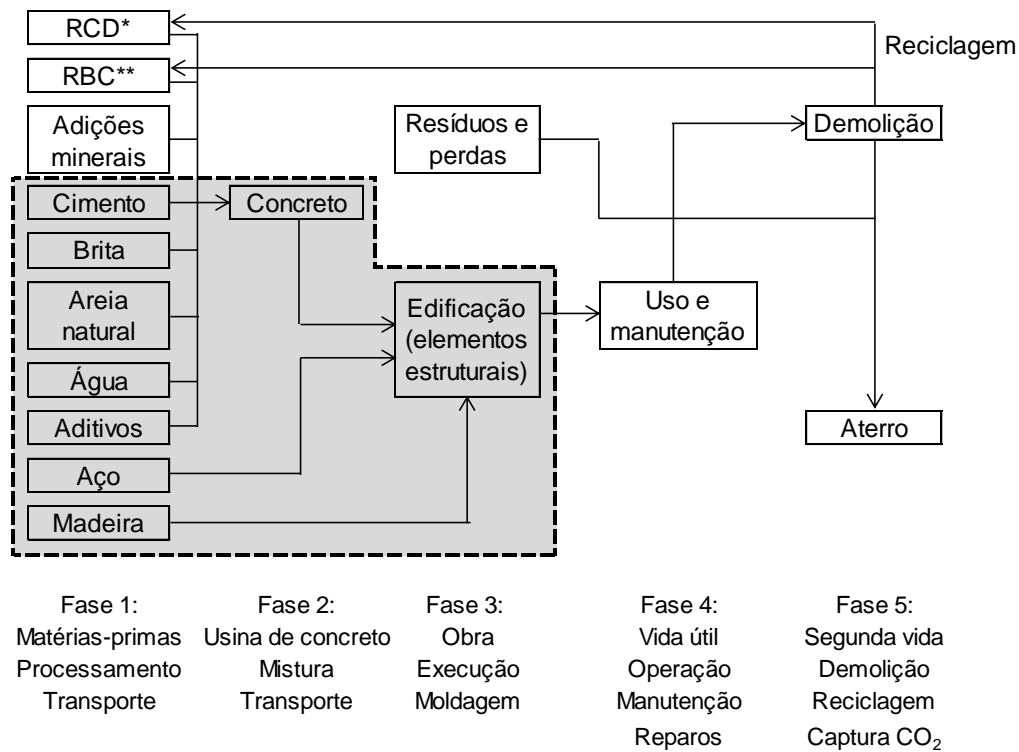
estudo dividido em quatro partes: Definição de Objetivo e Escopo, Análise de Inventário do Ciclo de Vida, Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida e Interpretação do Ciclo de Vida, conforme será abordado na sequência, em conformidade às diretrizes da NBR ISO 14040 (ABNT, 2014b).

3.4.1 Definição de Objetivo e Escopo

O presente estudo objetiva a avaliação do ciclo de vida de uma edificação em concreto armado, executável na cidade de Santa Maria – RS. Para tal, foram considerados os elementos estruturais da superestrutura que a constituem (vigas, pilares, lajes e escadas), duas resistências características à compressão do concreto (30 e 50 MPa) e dois tipos de cimento (CP II-Z e CP IV). Para cada resistência característica, elaborou-se um modelo estrutural, permitindo a determinação dos consumos de concreto, aço e formas necessários à posterior execução da estrutura. Com base em estudos de dosagem, foram definidos os consumos de cimento, areia, brita, água e aditivos para o concreto.

A Figura 16 esquematiza o sistema completo referido à edificação de concreto ao longo de todas as fases, com destaque às três primeiras fases, definidas como fronteiras deste estudo. Foram consideradas, portanto, as fases de processamento e transporte de matérias-primas; na usina, mistura e transporte do concreto; por fim, na obra, execução dos elementos estruturais. Os materiais considerados para as análises propostas foram cimento, brita, areia, água e aditivos para a produção de concreto conforme descrito anteriormente, além de aço e madeiramento para formas para, juntamente ao concreto, comporem a estrutura de concreto armado da edificação. Dessa forma, percebe-se que a presente Avaliação do Ciclo de Vida é de caráter parcial, valendo-se de uma abordagem *cradle-to-gate* ou do berço ao portão.

Como unidade funcional, adotou-se a edificação como um todo, de forma a ter-se o mesmo parâmetro comparativo para as análises, com a consideração de um conjunto de elementos estruturais com a função de suporte e resistência aos esforços solicitantes.



*RCD – resíduo de construção e demolição ** RBC – resíduo de bloco de construção

Figura 16 – Sistema relacionado à edificação de concreto armado

Fonte: adaptado de Silva, A. (2014)

Os impactos ambientais oriundos dos processos de entradas e de saídas foram classificados e quantificados conforme categorias de impacto, de acordo com o método de avaliação considerado. Para os impactos ambientais associados ao ciclo de vida dos produtos, utilizou-se a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida tradicional e a Avaliação do Ciclo de Vida modular (ACV-m), esta conforme recomendação do CBCS (2014a). Foram considerados, portanto, os impactos ambientais totais e as categorias de impactos ambientais mais críticas da construção civil: mudanças climáticas, uso de recursos naturais, consumo de energia, geração de resíduos e consumo de água para uma análise parcial, além da pegada de carbono.

Neste trabalho, foi utilizado o Eco-Indicador 99, conforme realizado por Silva, A. (2014) e Lamberti (2015), tendo-se em vista que essa metodologia está presente no *software* SimaPro 8.0.2 empregado.

Conforme consta no manual do *software* (PRÉ CONSULTANTS, 2008), o SimaPro contém uma série de métodos de avaliação de impactos ambientais e conta com um amplo banco de dados para a Avaliação do Ciclo de Vida. A estrutura

básica dos métodos é constituída por quatro etapas fundamentais: caracterização, avaliação de danos, normalização e ponderação. A caracterização consiste na multiplicação por um fator de caracterização das substâncias que contribuem para uma categoria de impacto, fator esse que expressa a contribuição relativa da substância. A avaliação de danos, por sua vez, consiste na associação das substâncias quantificadas a um indicador, enquanto que a normalização trata da padronização das unidades nas categorias de impacto com vistas à viabilização de comparações. Por fim, a etapa de ponderação consiste na multiplicação dos resultados das categorias de impacto por fatores de ponderação para a determinação de uma pontuação total.

O *software* SimaPro, além de dispor de um banco de dados bastante completo de diversos produtos, permite a criação de novos produtos ou processos, conforme interesse do usuário, quando esse dispõe de dados atualizados e mais condizentes com a realidade em que está inserido. Por fim, é pertinente destacar que os resultados podem ser expressos individualmente ou de forma comparativa em gráficos, fluxogramas ou tabelas para leitura e interpretação.

3.4.2 Análise de Inventário do Ciclo de Vida

A etapa envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculo, com base nas entradas e saídas associadas a um sistema de produto, o que foi realizado conforme as diretrizes de Silva, A. (2014) e Lamberti (2015). Silva, A. (2014) elaborou questionários e coletou dados junto à empresa onde o agregado miúdo foi adquirido, à pedreira onde o agregado graúdo foi extraído e à cimenteira onde os cimentos Portland foram produzidos.

Para o agregado miúdo, foram quantificadas como entradas no sistema o óleo diesel para extração e a água, além de óleo diesel para transporte, sendo considerados monóxido de carbono (CO), hidrocarbonatos (HC), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado como emissões ao ar.

Para o agregado graúdo, foram quantificados os consumos de óleo diesel dos equipamentos, a energia elétrica consumida pela pedreira, o explosivo utilizado no desmonte de rochas e o óleo diesel para transporte. A energia elétrica foi associada

à emissão de CO₂ ao ar, enquanto que as emissões do explosivo foram estimadas em função do nitrato de amônia (NH₄NO₃) e do óleo diesel (CH₂) que, ao reagirem, emanam dióxido de carbono (CO₂), vapor da água (H₂O) e gás nitrogênio (N₂).

Por sua vez, quanto aos cimentos, foram disponibilizadas apenas informações pela fábrica do cimento CP II-Z. A coleta de dados referentes ao CP IV não se fez possível, sendo utilizados, portanto, os dados correspondentes ao CP IV, porém, provenientes da indústria visitada. Silva, A. (2014), para a elaboração do inventário dos cimentos Portland, contabilizou os dados da mineração por material na jazida, incluindo óleo diesel e material explosivo demandados. Na fábrica, quanto ao processo produtivo do cimento, na etapa de clínquerização, foram consideradas as demandas de energias elétrica e térmica enquanto que, para a moagem e o ensacamento do cimento, também foi quantificada a energia elétrica requerida. Para o cimento CP II-Z, consideraram-se teores de 78,44% de clínquer, 2,23% de gesso, 10,00% de material carbonático e 9,33% de material pozolânico. Por sua vez, para o cimento CP IV, consideraram-se teores de 63,14% de clínquer, 1,97% de gesso, 4,89% de material carbonático e 30,00% de material pozolânico. Silva, A. (2014) ainda quantificou o óleo diesel relativo ao transporte dos cimentos.

Em relação ao aço, utilizaram-se dados do Relatório de Sustentabilidade do Aço referentes ao ano de 2012, disponibilizados pelo Instituto Aço Brasil (2013), sendo considerados os insumos requeridos e o óleo diesel para transporte.

Quanto às distâncias de transporte, tomou-se como referência a Universidade Federal de Santa Maria.

Silva, A. (2014), inicialmente, classificou os fluxos elementares em entradas ou em saídas; na sequência, uniformizou os dados para quantidade/mês; calculou os totais de materiais, combustíveis e energias envolvidos com cada processo unitário; dividiu o total de cada insumo pelo total de material produzido em quilogramas; por fim, obteve os fluxos de entrada e saída de cada unidade de processo.

Os inventários de aditivos químicos, água e madeira utilizados foram os constantes no *software* SimaPro, portanto, provenientes de uma base de dados internacional, visto que não foi possível a obtenção de dados locais. Foram escolhidos, dessa forma, os mais semelhantes possíveis aos utilizados no presente estudo, respectivamente: “*polycarboxilates, 40% active substance, at plant*”, “*tap water, at user*” e “*plywood, outdoor use, at plant*”.

Esses critérios foram adotados em decorrência da inexistência de bases de dados nacionais para estudos de ACV e, também, pela não disponibilização de informações por parte das empresas fornecedoras. Contudo, essas considerações não comprometem as análises aqui apresentadas por se tratar de um estudo comparativo que visa à determinação da solução mais sustentável em relação às demais.

Na etapa de execução da estrutura, foram contabilizados o óleo diesel consumido pelos caminhões betoneira e bomba e a energia elétrica demandada para vibração do concreto.

Não foram considerados nas análises as adições minerais de materiais pozolânicos e o aditivo plastificante, à base de lignosulfonato – rejeito líquido da extração de celulose – por se tratarem de resíduos, considerando-se, portanto, que seus impactos ambientais estão associados à outros sistemas de produto.

3.4.3 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida

A avaliação quantitativa e qualitativa dos impactos ambientais foi realizada com base nas entradas e saídas informadas nas etapas anteriores do estudo, de acordo com a metodologia empregada e previamente definida na etapa de estabelecimento de objetivo e escopo.

Para o presente estudo, utilizou-se o Eco-Indicador 99, o qual quantifica os impactos ambientais agrupando-os em três categorias de danos: saúde humana, qualidade do ecossistema e recursos. A saúde humana engloba mudanças climáticas, destruição da camada de ozônio, efeitos cancerígenos, efeitos respiratórios e radiação ionizante, expressos pelo número de anos de vida perdidos ou comprometidos (unidade: *Disability Adjusted Life Years*, DALY). A qualidade do ecossistema, por sua vez, engloba ecotoxicidade, acidificação, eutrofização e uso da terra, expressos pela perda de espécies em uma determinada área, ao longo de um intervalo de tempo (unidade: percentual de espécies em m².ano). Em relação aos recursos, são abrangidos esgotamento de recursos fósseis e minerais, expressos em termos de energia excedente necessária a futuras extrações (unidade:

Megajoule) (*MINISTRY OF HOUSING, SPATIAL PLANNING AND THE ENVIRONMENT*, 2000).

A referida publicação afirma que é possível a uniformização de unidades, permitindo-se a avaliação da magnitude geral dos impactos pela unidade *Pt*, isto é, uma unidade relativa equivalente um milésimo de carga ambiental anual média de um habitante europeu. Esse valor é calculado pela divisão da carga ambiental total da Europa pelo número de habitantes e multiplicado por 1000 como um fator de escala. A conversão é realizada pelo *software* e utilizada para a quantificação dos impactos no presente trabalho por uma pontuação única, viabilizando comparações entre as categorias. Ainda conforme *Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment* (2000), destaca-se que a pontuação total, isoladamente, não se faz tão relevante, na medida em que o principal objetivo é a comparação de diferentes produtos ou componentes entre si.

No presente estudo, a ponderação dos impactos ambientais deu-se conforme a configuração *default* do Eco-Indicador 99 do *software*, sendo os pesos atribuídos por categorias de danos: as categorias saúde humana e qualidade do ecossistema foram consideradas com a mesma relevância e a categoria recursos com metade da relevância em relação às demais para a quantificação da pontuação total.

3.4.4 Interpretação do Ciclo de Vida

Com base nos parâmetros e procedimentos anteriormente definidos, foram obtidos, utilizando-se o *software* SimaPro, os impactos ambientais individuais, em *Pt*, de acordo com a metodologia de ACV-m (CBCS, 2014a), como mudanças climáticas, uso de recursos naturais, consumo de energia, geração de resíduos e consumo de água, e os impactos ambientais totais referidos à edificação e aos elementos estruturais.

Também realizou-se a análise da pegada de carbono através da quantificação de toneladas de CO₂ equivalente, com base no inventário das emissões atmosféricas e nos fatores de equivalência apresentados na Tabela 16, extraídos do *Fourth Assessment Report* (IPCC, 2007).

Tabela 16 – Fatores de equivalência para cálculo do CO_{2eq}

Substância	Fator de equivalência
Clorofórmio	31
Dióxido de carbono, ar	1
Dióxido de carbono, biogênicos	1
Dióxido de carbono, fóssil	1
Dióxido de carbono, transformação de terras	1
Etano, 1,1-difluoro-, HFC-152a	124
Etano, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	1.430
Etano, 1,1,2-trifluoro-, CFC-113	6.130
Etano, 1,2-dicloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	10.000
Hexafluoreto de enxofre	22.800
Metano, ar	25
Metano, biogênicos	25
Metano, bromoclorodifluormetano-, Halon 1211	1.890
Metano, bromotrifluoro-, Halon 1301	7.140
Metano, clorodifluoro-, HCFC-22	1.810
Metano, diclorodifluoro-, CFC-12	10.900
Metano, diclorodifluoro-, HCFC-21	151
Metano, fóssil	25
Metano, triclorofluoro-, CFC-11	4.750
Metano, trifluoro-, HFC-23	14.800
Óxidos de nitrogênio	298

Fonte: adaptado de IPCC (2007)

Para a análise dos resultados e a elaboração de conclusões acerca dos impactos ambientais, procederam-se avaliações comparativas em termos absolutos dos impactos, em *Pt* ou *kPt*, e da pegada de carbono, em *tCO_{2eq}*, e análises unitárias, em *Pt/MPa/m³* e *tCO_{2eq}/MPa/m³*, respectivamente. Sendo a resistência mecânica à compressão o critério técnico mais amplamente utilizado para a caracterização do concreto, os impactos e a pegada de carbono foram divididos pela respectiva resistência de dosagem aos 28 dias (36,6 ou 56,6 MPa) e, também, pelo volume das peças de concreto, para fins de eliminação de eventuais interferências nos resultados. Em seguida, tomou-se uma combinação cimento-resistência por referência e, ao respectivo impacto ambiental unitário (*Pt/MPa/m³*), atribuiu-se o índice de impacto ambiental unitário $I_a = 100,00$. Para os demais traços de concreto, calcularam-se os índices correspondentes proporcionalmente para a definição da alternativa de menor impacto ambiental em relação às demais.

3.5 Custo do Ciclo de Vida

Para avaliação do custo, utilizaram-se as Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO, 2008) para a elaboração das fichas de custos unitários e dados econômicos do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, SINAPI, (BRASIL, 2015) e do Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado do Rio Grande do Sul (SINDUSCON-RS, 2015) para o mês de referência abril/2015. Foram quantificados aspectos econômicos referentes à aquisição dos insumos e à execução da estrutura em concreto armado para as soluções de projeto analisadas no presente trabalho, com abordagem *cradle-to-gate*, do berço ao portão.

Para fins de orçamentação, foi considerado concreto dosado em central que, de acordo com os índices econômicos consultados, apresentou variação no custo unitário apenas em decorrência do f_{ck} . Contudo, sabe-se que há diferenciação nos custos do cimento em decorrência do maior teor de clínquer constante no CP II-Z em relação ao CP IV, como também pelo valor do frete desde a fábrica, o que representa custo adicional para as concreteiras repassado às construtoras no custo por metro cúbico de concreto. Em decorrência disso, de forma simplificada, foi contabilizado um acréscimo de 5% no custo final do concreto executado com cimento CP II-Z.

Sobre a mão de obra, considerou-se a incidência de 132,91% de encargos sociais de acordo com a TCPO (2008), referentes a leis trabalhistas e previdenciárias de trabalhadores mensalistas. Neste estudo, não foram contabilizados Benefícios e Despesas Indiretas (BDI).

De posse dos custos unitários de concreto dosado em central (30 e 50 MPa), de transporte, lançamento, adensamento e acabamento do concreto em estrutura, de formas com chapa compensada resinada (5 aproveitamentos para pavimento tipo e 3 aproveitamentos para demais pavimentos) e de armaduras de aço, determinou-se o custo total de cada modelo estrutural ($R\$/edificação$) e dos elementos estruturais ($R\$/elemento$), conhecendo-se os respectivos quantitativos de materiais.

Além do cálculo em valores absolutos, determinou-se o custo unitário, em $R\$/MPa/m^3$ para fins de uniformização de resultados, de forma análoga aos impactos ambientais. Assim como no estudo de ACV, para a mesma referência

cimento-resistência, atribuiu-se ao respectivo custo unitário ($R\$/MPa/m^3$) o índice de custo unitário $I_c = 100,00$. Para os demais traços de concreto estudados, foram calculados os índices correspondentes de forma proporcional para a determinação da alternativa de menores custos iniciais comparativamente às demais.

3.6 Análise integrada de sustentabilidade e de custo

De acordo com Ha, Kwak e Lee (2006), os resultados da Avaliação do Ciclo de Vida e do Custo do Ciclo de Vida podem ser integrados calculando-se a média geométrica entre custos e impactos ambientais. Dessa maneira, a partir dos índices de impacto ambiental unitário e de custo unitário, respectivamente I_a e I_c , valores adimensionais, determinaram-se as médias geométricas, traço a traço, conforme apresentado na equação 3.

$$I = (I_a \cdot I_c)^{0,5} \quad (3)$$

Assim sendo, definiu-se a alternativa de melhor relação custo financeiro – benefício ambiental pela integração de ambos os aspectos por um indicador numérico único para cada uma das alternativas estudadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados e as análises da Avaliação do Ciclo de Vida e do Custo do Ciclo de Vida para cada alternativa analisada, conforme a dosagem experimental para dois níveis de resistência e dois tipos de cimento.

Foram avaliados os impactos ambientais individuais, conforme a metodologia de ACV-m (CBCS, 2014a), e totais, bem como os custos, valendo-se de abordagem comparativa e de forma a integrar aspectos ambientais e econômicos na definição da melhor solução para o estudo de caso.

4.1 Avaliação do Ciclo de Vida

Com base nos quantitativos de concreto, aço e formas, nos traços unitários de concreto e nos inventários dos materiais, com auxílio do *software* SimaPro, puderam-se verificar os impactos ambientais associados em nível de edificação e de elementos estruturais, considerando-se a abordagem do berço ao portão da presente pesquisa. Os dados de entrada informados no referido *software* para as análises que seguem estão apresentados no Apêndice D e, no Apêndice E, constam os inventários detalhados das matérias-primas consumidas e das emissões ao ar, à água e ao solo. A seguir, apresenta-se uma análise comparativa dentre as diferentes alternativas, com a avaliação dos impactos ambientais e da pegada de carbono para cada combinação entre cimento, CP II-Z ou CP IV, e nível de resistência, 30 ou 50 MPa.

4.1.1 Impactos ambientais individuais

Para a composição dos impactos totais, o *software* SimaPro considera onze categorias de impactos ambientais: efeitos cancerígenos, efeitos respiratórios

causados por substâncias orgânicas e inorgânicas, mudanças climáticas, radiação ionizante, destruição da camada de ozônio, ecotoxicidade, acidificação/eutrofização, uso da terra, minerais e combustíveis fósseis.

Contudo, de acordo com a metodologia ACV-m (CBCS, 2014a), para a construção civil, são cinco os impactos ambientais principais: mudanças climáticas, uso de recursos naturais, consumo de energia, geração de resíduos e consumo de água. Impactos esses que, juntamente ao CO₂ equivalente para a caracterização da pegada de carbono, foram quantificados para os quatro traços contemplados pelo presente estudo, referidos à unidade funcional: a estrutura de concreto armado.

4.1.1.1 Mudanças climáticas

Inicialmente, analisou-se a categoria mudanças climáticas na qual se verificou que a edificação de menor impacto ambiental é a de traço IV50 com 3,34 kPt, seguida pela II50 com 3,40 kPt. Na sequência, tem-se a edificação IV30 responsável por 3,65 kPt e, por fim, responsável pelo maior impacto, a edificação II30, com 3,71 kPt, conforme consta na Figura 17.

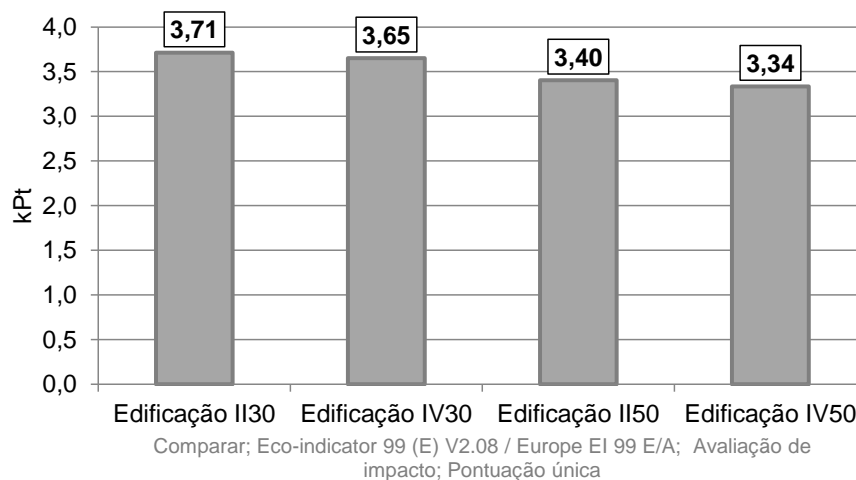


Figura 17 – Mudanças climáticas por traço de concreto da edificação

Considerando-se esse critério, percebeu-se que a edificação, quando projetada para 50 MPa de resistência característica do concreto, apresenta menores

potenciais de impactos ambientais se comparada a 30 MPa, com redução média em 8,4%. Por sua vez, a utilização de cimento CP IV é capaz de reduzir os impactos associados, em média, em 1,8% em relação ao cimento CP II-Z, o que demonstra que a variação no nível de resistência está associada a melhorias mais expressivas no desempenho ambiental se comparada ao tipo de cimento.

Silva, A. (2014) constatou a mesma tendência verificada para a edificação quando da análise isolada de um pilar com abordagem do berço ao portão, atribuindo tal evidência aos teores de clínquer totalizados por elemento estrutural os quais são maiores para o cimento CP II-Z se comparados ao CP IV. Essa justificativa também pode ser validada para o presente estudo, tendo-se em vista se tratarem de materiais e traços de concreto semelhantes, estando as diferenças fundamentadas, essencialmente, nos quantitativos dos insumos. Lamberti (2015), por sua vez, fez considerações adicionais ao trabalho de Silva, A. (2014) referentes à utilização, manutenção, desconstrução e reciclagem do pilar, bem como à durabilidade frente à carbonatação. Para os três tipos de cimentos por eles estudados, CP II-Z, CP IV e CP V, e para os dois f_{ck} do concreto, 30 e 50 MPa, o autor concluiu que essas fases pouco contribuem para o incremento dos impactos ambientais associados à categoria mudanças climáticas, quantificando-o em 0,1 a 0,4 Pt.

4.1.1.2 Uso de recursos naturais

O uso de recursos naturais contemplou o consumo de minerais e de combustíveis fósseis para a quantificação dos impactos ambientais potenciais a eles associados, estando os resultados apresentados na Figura 18. Para o concreto de menor resistência, foram obtidos 10,99 e 11,01 kPt, respectivamente para os traços II30 e IV30. Por sua vez, quando da análise comparativa da estrutura de maior resistência, os impactos ambientais foram quantificados em 9,28 e 9,32 kPt, respectivamente para os traços II50 e IV50.

Para a presente categoria de impacto, novamente, percebeu-se o agrupamento conforme os níveis de resistência, sendo menores os impactos ambientais referentes à estrutura de f_{ck} 50 MPa se comparados à de f_{ck} 30 MPa, em média, com redução de 15,4%. Ao considerar-se a influência do tipo de cimento,

foram verificadas pequenas diferenças entre as pontuações totalizadas para um mesmo nível de resistência do concreto, com redução média de 0,3% nos impactos ambientais quando da utilização do cimento CP II-Z em relação ao cimento CP IV. Em síntese, sob esse aspecto, o tipo de cimento empregado apresentou influência desprezível.

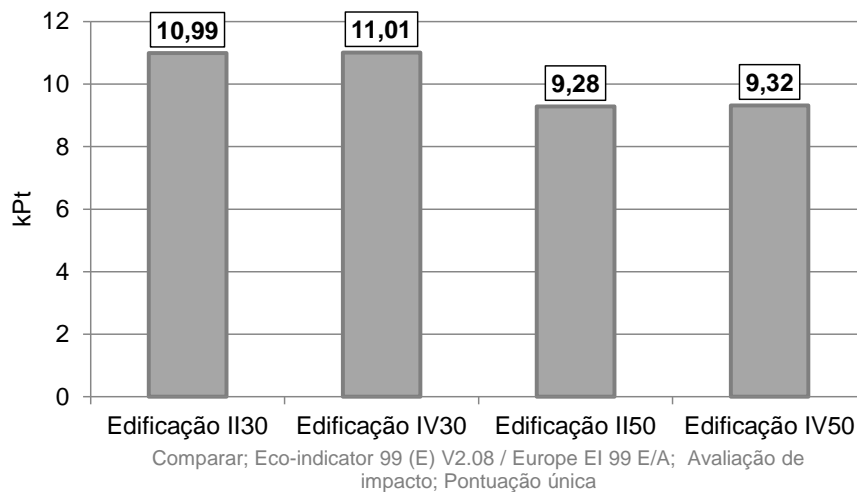


Figura 18 – Uso de recursos naturais por traço de concreto da edificação

Considerando-se os cimentos CP II-Z e CP IV comuns a presente pesquisa, Silva, A. (2014) obteve conclusões similares, salvo a ordem de grandeza, quando do estudo de um pilar isoladamente, com menores índices associados ao f_{ck} 50 MPa. Ao analisar os cimentos CP II-Z, CP IV e CP V de forma conjunta por nível de resistência, a autora também obteve, para fins práticos, igualdade dos impactos ambientais em decorrência dos coeficientes de variação totalizados em 0,2% para f_{ck} 30 MPa e 0,4% para f_{ck} 50 MPa. Lamberti (2015), acrescentando etapas em relação ao trabalho de Silva, A. (2014), obteve resultados de 1 a 3 Pt superiores em relação à publicação anterior e, em função das próprias delimitações de escopo da ACV, maiores impactos ambientais para f_{ck} 50 MPa para os cimentos CP II-Z e CP IV.

4.1.1.3 Consumo de energia

A quantificação da energia inclui os processos de extração e produção dos insumos e a energia demandada para vibração do concreto quando da execução da

estrutura no canteiro de obras. Os resultados seguem apresentados na Figura 19, onde se percebe que o potencial de impactos ambientais é menor quando do emprego de concreto de resistência de 50 MPa sendo 89,87 Pt para o cimento do tipo CP II-Z e 92,57 Pt para o cimento CP IV. Para concreto de resistência 30 MPa, os impactos são superiores: 99,56 Pt para o cimento CP II-Z e 101,46 Pt para o cimento CP IV.

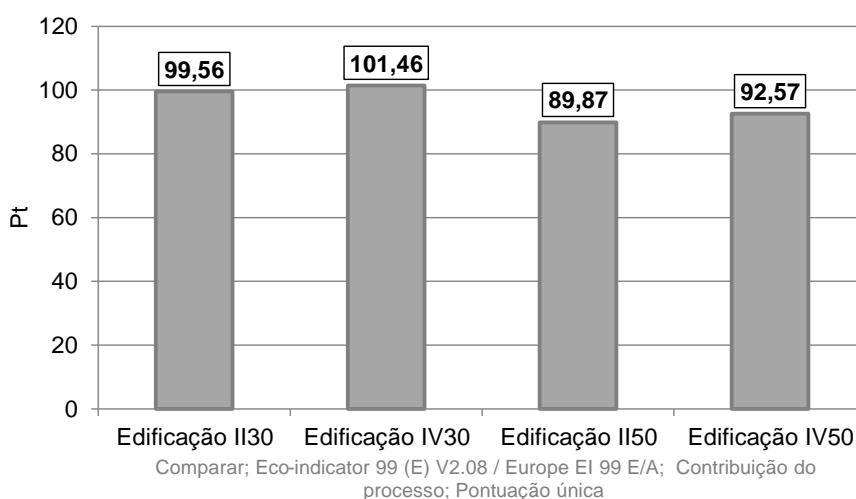


Figura 19 – Consumo de energia por traço de concreto da edificação

Em média, para f_{ck} 50 MPa, os impactos ambientais são 9,2% inferiores em relação ao f_{ck} 30 MPa e a utilização de cimento CP II-Z está associada 2,4% menos impactos ambientais comparativamente ao cimento CP IV. Mais uma vez, percebe-se que a variação no f_{ck} contribui de forma mais expressiva para a sustentabilidade que o tipo de cimento, constatando-se o melhor desempenho ambiental para a edificação de traço II50 e o pior desempenho para a IV 30.

Silva, A. (2014) apresentou os resultados na unidade *Megajoule (MJ)* e concluiu não haver variações relevantes entre os dois níveis de resistência, tendo em vista a diferença média de 3,9% obtida. Quanto aos tipos de cimento, a autora também constatou melhor desempenho ambiental associado ao CP II-Z se comparado ao CP IV, sendo o coeficiente de variação entre os resultados totalizado em 7,5%, incluindo-se o CP V, não englobado pelo escopo da presente pesquisa. Lamberti (2015), ao incluir a fase de utilização do pilar de concreto, salientou a pequena magnitude dos resultados, destacando os menores impactos associados ao pilar de traço IV30 (0,044 Pt) dentre os traços comuns ao presente estudo. O

resultado do autor pode ser justificado pelo não atendimento da vida útil mínima desse pilar, o que veio por requerer aplicação de tinta acrílica, dispensando processos de lavagem que consomem energia elétrica para funcionamento do aparelho lava-jato.

4.1.1.4 Geração de resíduos

A categoria de impacto ambiental geração de resíduos engloba as substâncias com riscos potenciais de provocarem fenômenos de acidificação e eutrofização no solo e na água, estando os resultados totalizados na Figura 20. Para a edificação com f_{ck} 30 MPa, a geração de resíduos revelou-se responsável por 608,34 e 608,82 Pt, respectivamente, para os traços II30 e IV30, enquanto que, para f_{ck} 50 MPa, houve redução para 521,26 e 522,18 Pt para os traços II50 e IV50, respectivamente.

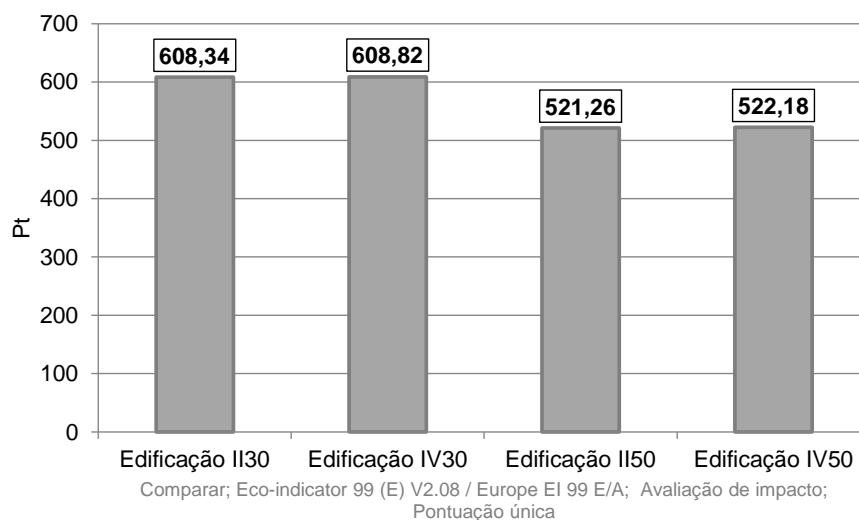


Figura 20 – Geração de resíduos por traço de concreto da edificação

Os resultados obtidos demonstram que o aumento da resistência de 30 MPa para 50 MPa, em média, reduz os impactos ambientais em questão em 14,3%, enquanto que a utilização de cimento CP II-Z reduz os impactos associados em 0,1% em relação ao CP IV. Nesse caso, portanto, para um mesmo nível de

resistência, a opção por um tipo de cimento ou outro praticamente não interfere na magnitude do impacto associado, podendo-se interpretar os resultados, para fins práticos, como equivalentes.

Silva, A. (2014) e Lamberti (2015) obtiveram conclusões semelhantes para o pilar em estudo, constatando que sua execução com resistência característica de 50 MPa conduz a melhores resultados quanto a esse quesito ambiental e que, para um mesmo nível de resistência, a opção pelo tipo de cimento empregado é responsável por pequenas variações em unidades *Pt*. Essas variações foram quantificadas, de acordo com Silva, A. (2014), em 0,18% a 0,63%, considerando-se os cimentos CP II-Z, CP IV e CP V estudados pela autora. Lamberti (2015), por sua vez, concluiu que os impactos ambientais associados à categoria geração de resíduos sofrem acréscimos de cerca de 60% quando da inclusão das fases de uso, manutenção e destinação final dos resíduos em relação à abordagem do berço ao portão.

4.1.1.5 Consumo de água

Analisando-se os impactos ambientais associados ao consumo de água por traço de concreto da edificação constantes na Figura 21, verificou-se que os menores impactos são oriundos, em sequência crescente, das edificações de traços IV50 (1,00 *Pt*), II50 (1,01 *Pt*), IV30 (1,02 *Pt*) e II30 (1,03 *Pt*).

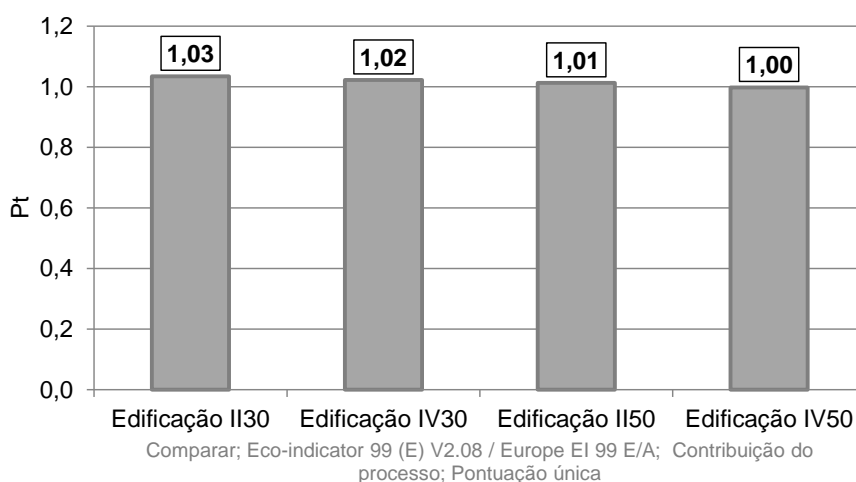


Figura 21 – Consumo de água por traço de concreto da edificação

Constatou-se relação direta com a relação água/cimento dos traços, isto é: quanto maiores as relações água/cimento, maiores os consumos de água e, conseqüentemente, maiores os impactos ambientais. Sob análise comparativa, o aumento da resistência do concreto mostrou-se favorável à sustentabilidade, muito embora seja verificada uma pequena variabilidade entre os resultados, expressa por um coeficiente de variação de 1,5%.

Silva, A. (2014) obteve tendência semelhante em seus resultados expressos na unidade m^3 , na medida em que se destacou o melhor desempenho para o nível de resistência do concreto de 50 MPa e para o cimento CP IV, além da pequena diferença entre os resultados para o mesmo f_{ck} , quantificada em menos de 0,9% entre os cimentos CP II-Z, CP IV e CP V. No entanto, Lamberti (2015) concluiu haver maior impacto para os pilares com f_{ck} 50 MPa (traços II50 e IV50, pela elevada vida útil, estimada em 150 anos), tendo-se em vista as manutenções periódicas por lavagem do elemento. Dentre os traços comuns ao presente estudo, as lavagens foram dispensadas para o traço IV30 pela aplicação de pintura com tinta acrílica em decorrência da baixa vida útil a ele associada, o que reduziu seu impacto ambiental na categoria consumo de água.

4.1.1.6 Análise integrada dos impactos ambientais individuais

Para uma análise integrada e comparativa dos impactos ambientais das cinco categorias principais apresentadas, fez-se uma compilação dos resultados na Figura 22 a seguir, com uniformização para a unidade *Pt*. Na sequência, apresenta-se a Tabela 17, a qual contempla os valores médios por categoria e os respectivos coeficientes de variação obtidos a partir dos quatro traços de concreto estudados.

Constatou-se que a categoria consumo de água está associada aos menores impactos ambientais (em média, 1,02 *Pt*), seguida por consumo de energia (em média, 95,86 *Pt*), geração de resíduos (em média, 565,15 *Pt*), mudanças climáticas (em média, 3.525,64 *Pt*) e recursos naturais (em média, 10.148,40 *Pt*). Assim sendo, a categoria recursos naturais é responsável, em média, por 2,9 vezes mais impactos que a categoria mudanças climáticas, 18,0 que geração de resíduos, 105,9 que consumo de energia e 9.984,5 que consumo de água.

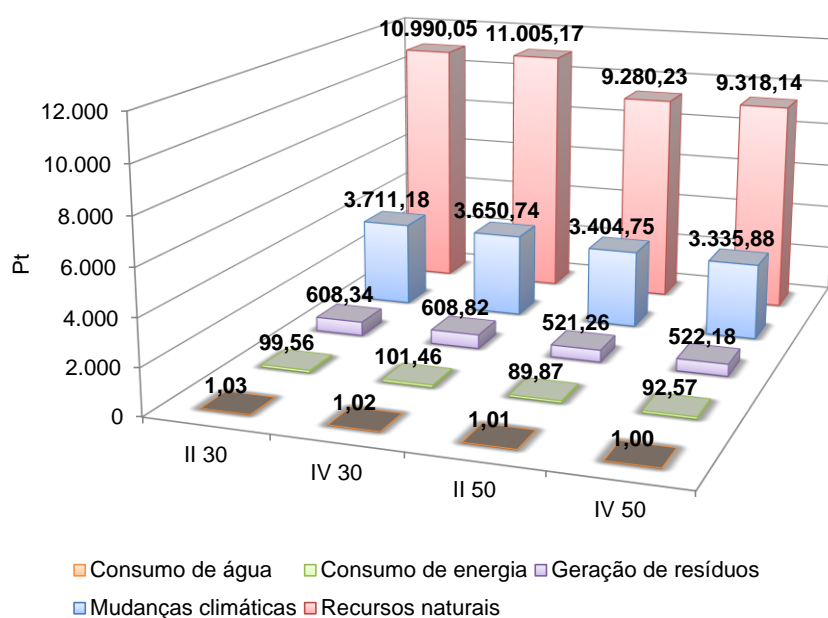


Figura 22 – Impactos ambientais individuais por traço de concreto da edificação

Tabela 17 – Impactos ambientais individuais médios e coeficientes de variação da edificação

Impactos ambientais	Recursos naturais	Mudanças climáticas	Geração de resíduos	Consumo de energia	Consumo de água
Média (Pt)	10.148,40	3.525,64	565,15	95,86	1,02
Coef. Var. (%)	9,7	5,2	8,9	5,8	1,5

Por sua vez, analisando-se os coeficientes de variação correspondentes a cada um dos impactos ambientais individuais, percebeu-se que as menores variações foram obtidas, em sequência crescente, para as categorias de consumo de água (1,5%), mudanças climáticas (5,2%), consumo de energia (5,8%), geração de resíduos (8,9%) e recursos naturais (9,7%). Esses resultados indicam que as variações entre os tipos de cimento e os níveis de resistência foram mais expressivas para os impactos ambientais referentes às categorias de recursos naturais e geração de resíduos.

Na sequência, efetuou-se o cálculo unitário dos impactos. Inicialmente, procedeu-se a divisão de cada categoria de impacto pela resistência aos 28 dias, ou seja, 36,6 e 56,6 MPa, respectivamente para f_{ck} 30 e 50 MPa, para fins de uniformização dos resultados quanto ao parâmetro resistência, tendo-se em vista ser essa uma das propriedades especificadas na elaboração do projeto estrutural e na

solicitação do concreto em obra. Para fins de eliminação dos efeitos originários dos quantitativos de materiais, fez-se, ainda, a divisão pelo volume de concreto demandado por cada situação de projeto, obtendo-se os impactos unitários. Os resultados estão apresentados na Figura 23, multiplicados por 10^2 para melhor visualização, seguidos pela Tabela 18, na qual constam os impactos ambientais unitários médios e os coeficientes de variação calculados a partir dos quatro traços de concreto e expressos por categoria.

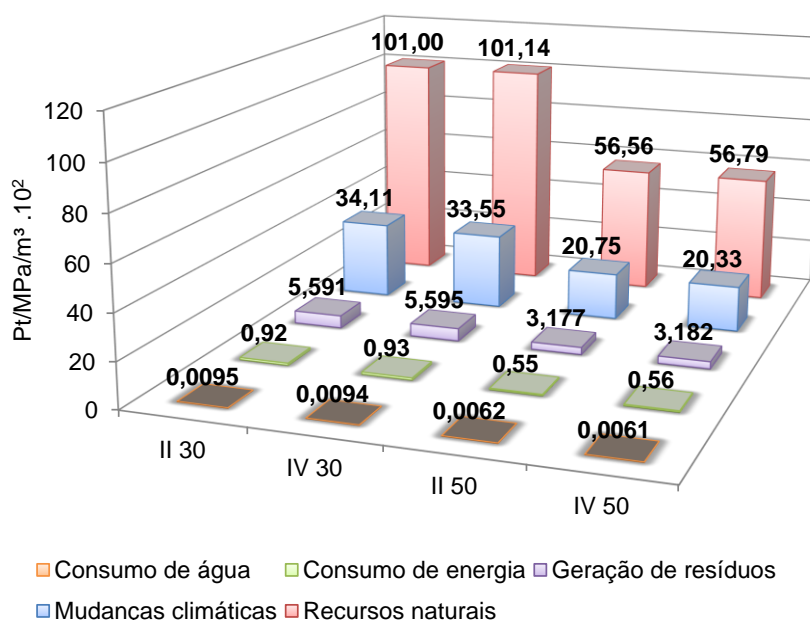


Figura 23 – Impactos ambientais individuais unitários por traço de concreto da edificação

Tabela 18 – Impactos ambientais individuais unitários médios e coeficientes de variação da edificação

Impactos ambientais	Recursos naturais	Mudanças climáticas	Geração de resíduos	Consumo de energia	Consumo de água
Média (Pt/MPa/m ³ .10 ²)	78,87	27,18	4,39	0,74	0,01
Coef. Var. (%)	32,5	28,2	31,8	28,7	24,6

Ratificando as análises absolutas, percebe-se que, dentre as categorias de impacto analisadas, a categoria consumo de água destacou-se como a responsável pelos menores impactos ambientais unitários (em média, 0,01 Pt/MPa/m³.10²), seguida por consumo de energia (em média, 0,74 Pt/MPa/m³.10²), geração de

resíduos (em média, 4,39 Pt/MPa/m³.10²), mudanças climáticas (em média, 27,18 Pt/MPa/m³.10²) e recursos naturais (em média, 78,87 Pt/MPa/m³.10²). Em valores médios por categoria de impacto, recursos naturais é 2,9 vezes superior à categoria mudanças climáticas, 18,0 à geração de resíduos, 106,6 ao consumo de energia e 10.130,8 ao consumo de água.

Por sua vez, os coeficientes de variação foram totalizados em 24,6% para consumo de água, 28,2% para mudanças climáticas, 28,7% para consumo de energia, 31,8% para geração de resíduos e 32,5% para recursos naturais. Tendo-se em vista o aumento de todos esses percentuais quando da análise unitária, em *Pt/MPa/m³.10²*, em relação à análise absoluta, em *Pt*, pode-se afirmar que a análise unitária expressou mais claramente as diferenças entre os traços estudados, sendo, portanto, a mais adequada para fins comparativos.

Em geral, os resultados unitários vão ao encontro das análises absolutas, corroborando a constatação de melhora de desempenho quando da opção pela resistência característica de 50 MPa, tendo-se em vista os menores impactos unitários para todas as categorias. Comparativamente ao f_{ck} , constata-se que a contribuição da variação do tipo de cimento é menos expressiva, sendo o CP II-Z mais sustentável nas categorias recursos naturais (56,56 Pt/MPa/m³.10²), geração de resíduos (3,177 Pt/MPa/m³.10²) e consumo de energia (0,55 Pt/MPa/m³.10²), enquanto que o cimento CP IV mostra-se mais sustentável nas categorias mudanças climáticas (20,33 Pt/MPa/m³.10²) e consumo de água (0,0061 Pt/MPa/m³.10²).

4.1.1.7 Pegada de carbono

A partir dos dados dos inventários de emissões atmosféricas de cada traço de concreto da edificação em estudo multiplicados pelos coeficientes de equivalência constantes na Tabela 16 anteriormente apresentada, determinou-se a pegada de carbono expressa em toneladas de CO₂ equivalente, conforme consta na Figura 24. Sequencialmente, os melhores resultados em termos de sustentabilidade quanto a esse aspecto foram obtidos para as edificações de f_{ck} 50 MPa, 533,14 e 534,33 t CO_{2eq}, respectivamente para os traços II50 e IV50, seguidas pelas edificações de f_{ck} 30 MPa, 623,54 e 624,10 t CO_{2eq}, respectivamente para os traços II30 e IV30.

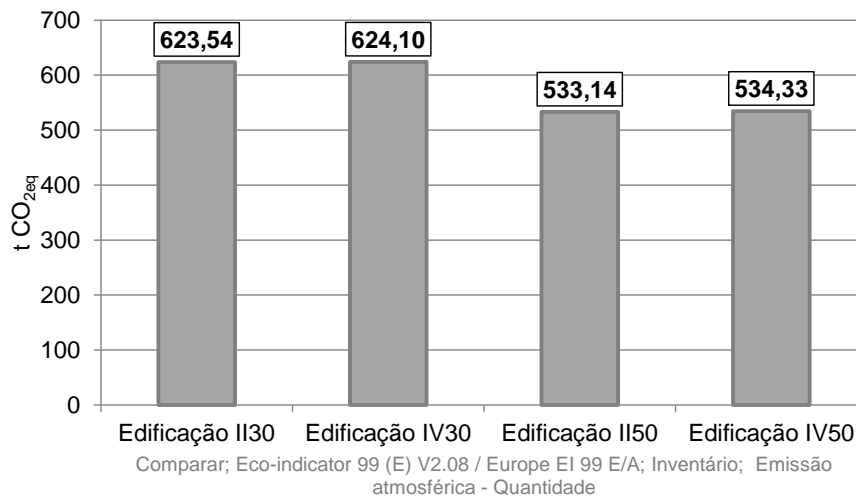


Figura 24 – Pegada de carbono por traço de concreto da edificação

Nota-se a tendência de agrupamento dos resultados conforme o nível de resistência adotado, isto é, as edificações dimensionadas para execução em concreto de 50 MPa apresentaram índices, em média, 14,4% inferiores de emissões de CO₂ equivalente se comparadas às edificações de 30 MPa. Percebe-se, também, que as diferenças entre os tipos de cimento, para um mesmo nível de resistência, são irrisórias, posto que a opção pelo cimento CP II-Z está associada à redução média de 0,2% das emissões associadas ao cimento CP IV, podendo-se tratar os valores como equivalentes. Sob análise geral, em média, para os quatro traços de concreto estudados, são emanados 578,78 t CO_{2eq}, com um coeficiente de variação de 9,0%.

Ao consultar o trabalho de Silva, A. (2014), constataram-se conclusões semelhantes às acima apresentadas, considerando-se as devidas reduções proporcionais em decorrência do volume de materiais demandado pela unidade funcional: melhor desempenho associado ao nível de resistência superior e pequena diferença entre CP II-Z e CP IV, quantificada em 0,2%. Lamberti (2015), por agregar estudos de carbonatação ao trabalho de Silva, A. (2014), verificou que a absorção de CO₂ ao longo da vida útil do pilar corresponde a um teor de 3 a 5% em relação ao total emitido, o que resultou em melhor desempenho para o traço II50 e pior para o II30, considerando-se apenas os cimentos CP II-Z e CP IV, comuns à presente pesquisa.

A análise unitária da pegada de carbono está apresentada a seguir, na Figura 25, sendo os valores obtidos pela divisão das toneladas de CO₂ equivalente pela

resistência à compressão de cada traço aos 28 dias e, ainda, pelo volume de concreto correspondente, multiplicados por 10^2 , para melhor visualização. Os resultados em termos unitários, ao serem eliminadas possíveis influências das resistências e dos quantitativos de materiais, reafirmam que, em termos de emissões ao ar, a melhor solução é dada pelo traço II50, seguido por IV50, II30 e IV30, respectivamente com 3,25, 3,26, 5,73 e 5,74 t CO_{2eq}/MPa/m³.10².

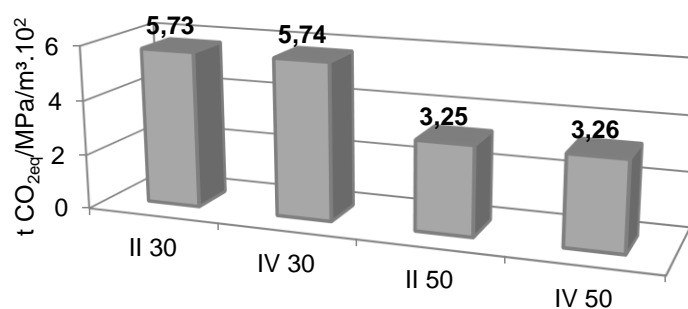


Figura 25 – Pegada de carbono unitária por traço de concreto da edificação

Com base nesses valores, pode-se constatar, novamente, que, sob análise unitária, a especificação do nível de resistência superior está associada à redução da pegada de carbono. Por sua vez, o tipo de cimento não proporciona melhorias expressivas no desempenho ambiental, haja vista a proximidade dos resultados obtidos para um mesmo nível de resistência, com ligeira preferência pelo emprego do cimento CP II-Z em relação ao cimento CP IV para ambos valores de f_{ck} .

Para os quatro traços de concreto em estudo, em média, a pegada de carbono unitária foi totalizada em 4,49 t CO_{2eq}/MPa/m³.10², com coeficiente de variação de 31,9%. Comparando-se este valor com o coeficiente de variação oriundo da análise absoluta (9,0%), percebe-se que, mais uma vez, a análise unitária acentua as diferenças entre os traços, retratando-as mais claramente.

4.1.2 Impactos ambientais totais

No *software* SimaPro, os impactos ambientais totais referidos a uma unidade funcional são agrupados sob três categorias de danos principais: saúde humana,

qualidade do ecossistema e recursos, sendo expressos em uma unidade comum que as torna passíveis de comparações: *Pt*, equivalente a um milésimo de carga ambiental anual média de um habitante europeu (ou *kPt* em função da ordem de grandeza dos resultados).

Na sequência, segue a abordagem dos impactos ambientais totais sob dois enfoques: primeiramente considerando-se a edificação como unidade funcional, entendendo-a como um conjunto de elementos com a função estrutural de suporte e resistência aos esforços solicitantes e, para fins de comparação, considerando-se os diferentes elementos estruturais que a compõem separadamente: vigas, pilares, lajes e escadas.

4.1.2.1 Impactos ambientais totais da edificação

Na Figura 26, estão apresentados os impactos ambientais totais para cada tipo de cimento e nível de resistência associados à edificação. Pode-se afirmar que a alternativa de menor impacto ambiental total consiste na edificação IV50, com 38,15 kPt, seguida pelas edificações II50, com 38,33 kPt, IV30, com 44,05 kPt e, por fim, pela alternativa de maior impacto, a edificação II30, com 44,23 kPt.

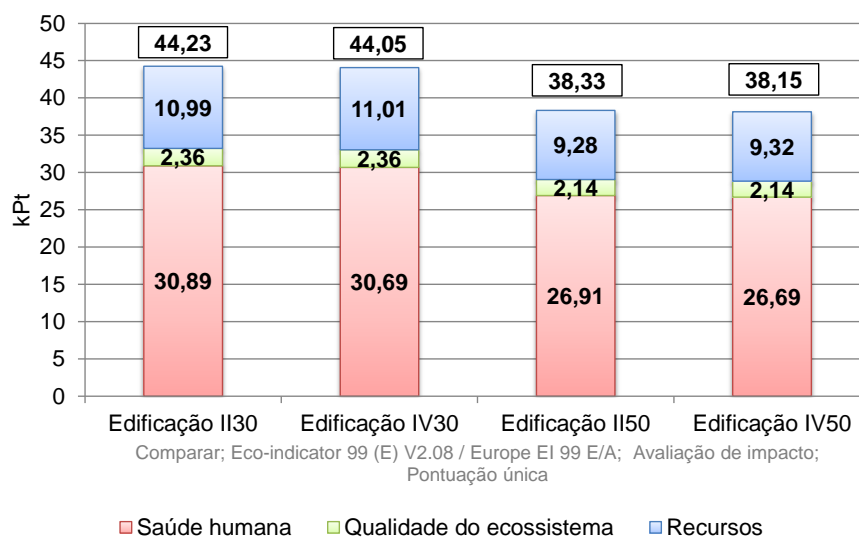


Figura 26 – Impactos ambientais totais por traço de concreto da edificação

Comparativamente, em termos absolutos, percebe-se que as edificações dimensionadas com f_{ck} 50 MPa apresentaram menores impactos ambientais se comparadas às de f_{ck} 30 MPa, com redução de 13,4%. Observando-se os tipos de cimento, constata-se que o cimento CP IV possui ligeiramente melhor desempenho ambiental se comparado ao CP II-Z, com diferenças pouco relevantes, tendo-se em vista a redução média de 0,4% nos impactos ambientais. Para os quatro traços de concreto, em média, os impactos ambientais foram totalizados em 41,19 kPt, com coeficiente de variação de 8,3%.

Analisando-se as separadamente as categorias de danos apresentadas, nota-se que a saúde humana é a mais afetada, em média para todas as soluções em questão, com 69,9% dos impactos totais, seguida por recursos, com 24,6% e, por fim, por qualidade do ecossistema, com 5,5% dos impactos.

Considerando-se a unidade funcional da presente pesquisa, com base nos impactos ambientais totais para cada traço de concreto da edificação, foram calculados os impactos unitários na unidade $Pt/MPa/m^3$. Para isso, efetuou-se a divisão do impacto de cada categoria pela resistência à compressão aos 28 dias (f_{c28} 36,6 MPa para f_{ck} 30 MPa e f_{c28} 56,6 MPa para f_{ck} 50 MPa) e pelo volume de material, isto é, volume de concreto, compatibilizando resultados em função do consumo e os uniformizando de acordo com o critério tradicionalmente especificado pelos projetistas: a resistência à compressão do concreto. Os resultados seguem apresentados na Figura 27, na qual se pode perceber que a análise unitária corroborou as constatações da análise em valores absolutos, em Pt : o melhor desempenho ambiental foi obtido para a edificação de traço IV50 (2,33 $Pt/MPa/m^3$), seguida pelos traços II50 (2,34 $Pt/MPa/m^3$), IV30 (4,05 $Pt/MPa/m^3$) e II30 (4,07 $Pt/MPa/m^3$).

Em média, para os quatro traços de concreto, os impactos unitários resultaram em 3,19 $Pt/MPa/m^3$ e o coeficiente de variação foi calculado em 31,2%. Observando-se os coeficientes de variação dos impactos totais e unitários, percebe-se que, quando da análise por impactos unitários, as dispersões dos resultados evoluem de 8,3% para 31,2%. Pode-se inferir, portanto, que as análises unitárias são mais adequadas para retratar as diferenças de sustentabilidade entre os traços estudados para a composição da estrutura da edificação. Assim, justifica-se sua utilização na integração com os custos para a definição da alternativa de melhor relação custo financeiro – benefício ambiental.

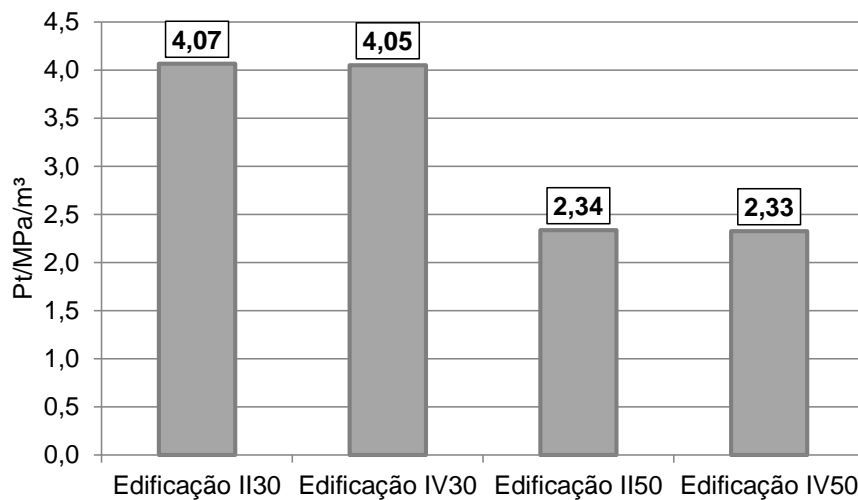


Figura 27 – Impactos ambientais totais unitários por traço de concreto da edificação

Silva, A. (2014), ao realizar um estudo similar tomando como unidade funcional um pilar, obteve conclusões semelhantes: considerando-se o impacto total, a melhor alternativa para o pilar foi o traço IV50 (30,11 Pt), seguido por II50 (30,24 Pt), IV30 (32,02 Pt) e, por fim, II30 (32,20 Pt), apresentando-se apenas os quatro traços comuns ao presente trabalho. Procedendo-se a análise unitária, os resultados foram corroborados pela autora: a melhor alternativa foi o traço IV50 (0,532 Pt/MPa), seguido por II50 (0,534 Pt/MPa), IV30 (0,875 Pt/MPa) e II30 (0,880 Pt/MPa).

Lamberti (2015), ao acrescentar ao trabalho de Silva, A. (2014) as fases de uso, manutenção, desconstrução e reciclagem do pilar e considerações quanto à durabilidade frente à carbonatação, obteve resultados indicativos de que o menor impacto total é dado pelo traço IV50 (36,10 Pt), sucedido por II50 (36,28 Pt), II30 (37,65 Pt) e IV30 (37,90 Pt), novamente, apresentando-se apenas os traços comuns ao presente estudo. Sob análise unitária, ao incluir a resistência do concreto e a vida útil, o melhor desempenho foi dado, novamente, pelo traço IV50 (42,52 Pt/MPa/ano.10⁴), seguido por II50 (42,73 Pt/MPa/ano.10⁴), II30 (183,69 Pt/MPa/ano.10⁴) e IV30 (195,38 Pt/MPa/ano.10⁴).

No presente estudo, os impactos ambientais potenciais totais apresentaram ordem de grandeza 10³ vezes superior se comparados aos de Silva, A. (2014) e de Lamberti (2015). Isto é, neste trabalho, a quantificação dos impactos ambientais deu-se na unidade *kPt*, enquanto que, nos demais, foi expressa em *Pt*, o que pode ser atribuído às diferentes demandas por materiais referidas a cada unidade

funcional considerada: a edificação como um todo neste caso e um pilar de concreto armado nos estudos de Silva, A. (2014) e Lamberti (2015).

O *software* SimaPro também fornece relatórios detalhados dos impactos ambientais conforme os processos considerados. Para o presente estudo de caso, puderam-se mapear elementos críticos no sistema de produto, dentre materiais que compõem o concreto de acordo com os traços experimentais, aço para armação, madeiramento para formas, além do processo de vibração para adensamento do concreto e do óleo diesel consumido pelo caminhão betoneira e caminhão bomba. Na Tabela 19, as contribuições parciais foram calculadas em termos percentuais de acordo com o impacto total para cada traço de concreto das edificações, sendo os dados utilizados nos cálculos extraídos do *software* em unidade *kPt*. Os impactos dos insumos relacionados ao concreto estão apresentados de forma detalhada e, na sequência, totalizados na linha “Concreto (%)”.

Tabela 19 – Contribuições percentuais dos materiais nos impactos ambientais totais por traço de concreto da edificação

Materiais	Edificação II30	Edificação IV30	Edificação II50	Edificação IV50
Cimento CP II-Z (%)	5,21	-	7,86	-
Cimento CP IV (%)	-	4,84	-	7,37
Areia (%)	0,124	0,115	0,118	0,104
Brita (%)	0,371	0,368	0,419	0,415
Água (%)	0,00234	0,00232	0,00264	0,00261
Aditivo (%)	-	-	0,14	0,21
Energia elétrica (%)*	0,0000988	0,0000992	0,0001111	0,0001117
Diesel (%)**	1,40	1,41	1,58	1,59
Concreto (%)	7,1	6,7	10,1	9,7
Aço (%)	87,8	88,1	84,1	84,5
Formas (%)	5,1	5,1	5,8	5,8

*Energia elétrica demandada para vibração do concreto na execução

**Diesel demandado pelo caminhão betoneira e caminhão bomba

Com base nos resultados, destaca-se o aço como o material responsável, em média, por 86,1% dos impactos potenciais da edificação. Na sequência, tem-se o concreto e as formas, respectivamente, com percentuais médios de 8,4% e 5,5% em relação aos impactos totais. Analisando-se especificamente os insumos do concreto, destacam-se os cimentos, com 6,3%, e o óleo diesel, com 1,5% das contribuições

totais médias, enquanto que a areia, a brita, a água, o aditivo e a energia elétrica estão associados a percentuais pouco expressivos, inferiores a 1%.

Além das próprias características de impactos ambientais associadas ao material, a elevada contribuição do aço pode ter sido intensificada pelas premissas de projeto, na medida em que a busca pelas menores seções de concreto para os elementos estruturais vem por requerer maior taxa de armadura para atendimento do Estado Limite Último, ainda em observância aos requisitos normativos.

Silva, A. (2014), por sua vez, também destaca o aço como maior contribuinte para os impactos ambientais do pilar estudado, responsável, em média, para os cimentos CP II-Z, CP IV e CP V, por 66% dos impactos, seguido pela madeira, com 20%, e pelo cimento, com 9%. Os demais processos estudados, segundo a autora, contribuem com menos de 1% em relação ao impacto total.

4.1.2.2 Impactos ambientais totais dos elementos estruturais

Os impactos ambientais totais referidos à edificação podem ser analisados separadamente, por tipo de elemento estrutural: vigas, pilares, lajes e escadas, de maneira tal que o somatório das partes deva igualar-se ao todo, na medida em que a edificação como unidade funcional é entendida como um conjunto de elementos que exercem função estrutural. Os resultados dos impactos ambientais classificados por elemento estrutural seguem apresentados na Figura 28, seguidos pelos respectivos valores médios e coeficientes de variação obtidos a partir dos quatro traços de concreto na Tabela 20.

Observando-se esses resultados, constatou-se que, em valores médios, os menores impactos ambientais são oriundos dos elementos de escadas (0,86 kPt), seguidos pelos pilares (10,99 kPt), pelas lajes (12,19 kPt) e pelas vigas (17,15 kPt). Percebe-se que os impactos ambientais totais são mais semelhantes para lajes pelo baixo coeficiente de variação associado (0,5%), seguidas pelas vigas (4,9%) e pelas escadas (7,5%). As maiores diferenças entre as resistências características e os tipos de cimento foram obtidas para os pilares, tendo-se em vista o coeficiente de variação elevado em relação aos demais (22,7%).

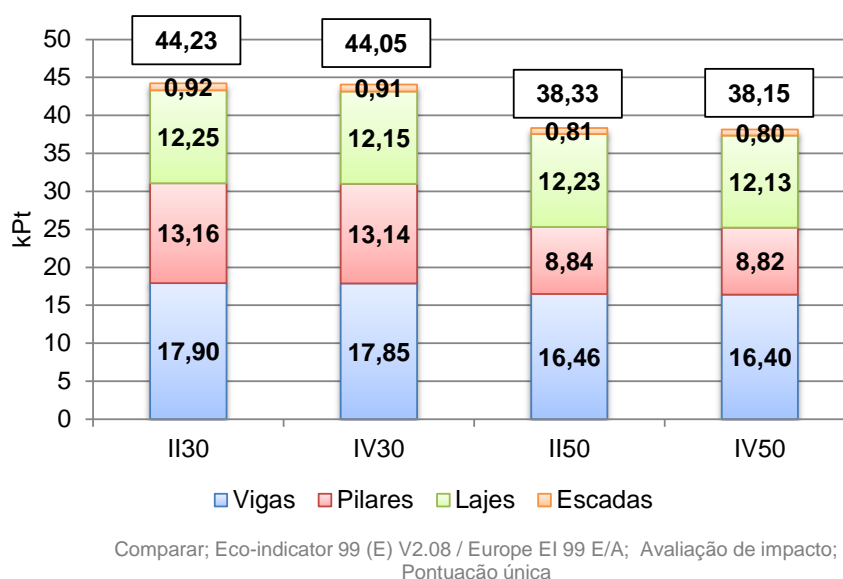


Figura 28 – Impactos ambientais totais por traço de concreto dos elementos estruturais

Tabela 20 – Impactos ambientais totais médios e coeficientes de variação dos elementos estruturais

Elementos	Vigas	Pilares	Lajes	Escadas
Média (kPt)	17,15	10,99	12,19	0,86
Coef. Var. (%)	4,9	22,7	0,5	7,5

Contudo, para uma análise comparativa mais adequada dos impactos ambientais oriundos de elementos estruturais de funções distintas e que, conseqüentemente, demandam materiais em diferentes magnitudes também em decorrência dos níveis de resistência, faz-se necessário que os resultados sejam uniformizados por unidade de volume e de resistência. Assim sendo, seguem, na Figura 29, os impactos ambientais unitários, em $Pt/MPa/m^3$, obtidos para vigas, pilares, lajes e escadas, dispostos conforme os traços II30, IV30, II50 e IV50, seguidos pela Tabela 21 com os valores médios e coeficientes de variação por elemento estrutural.

Pode-se inferir que, independentemente do elemento estrutural analisado, os menores impactos ambientais unitários estão associados ao f_{ck} 50 MPa, sendo a redução de resistência para 30 MPa desfavorável à sustentabilidade. Para um mesmo nível de resistência, a opção pelo cimento CP IV é ambientalmente mais sustentável, muito embora a variação no tipo de cimento mostrou-se menos

relevante se comparada à variação no nível de resistência do concreto, indicativo que aquela variável pouco contribui para a sustentabilidade.

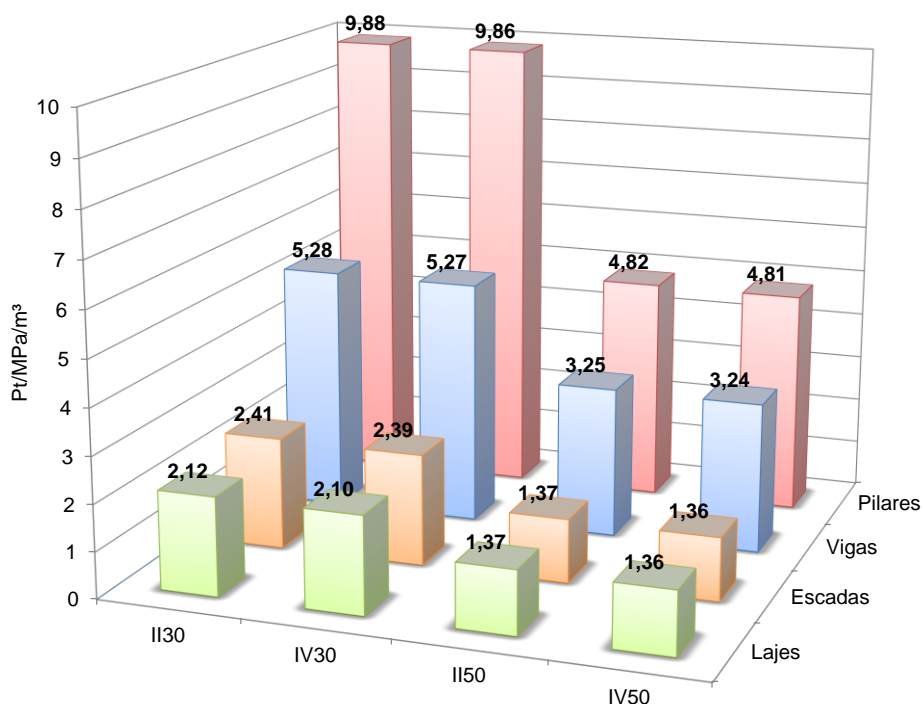


Figura 29 – Impactos ambientais totais unitários por traço de concreto dos elementos estruturais

Tabela 21 – Impactos ambientais totais unitários médios e coeficientes de variação dos elementos estruturais

Elementos	Vigas	Pilares	Lajes	Escadas
Média (Pt/MPa/m³)	4,26	7,34	1,74	1,88
Coef. Var. (%)	27,5	39,8	24,8	31,9

Analisando-se os resultados de forma comparativa, nota-se que os elementos de lajes apresentaram os menores impactos por unidade de resistência e de volume (em média, 1,74 Pt/MPa/m³), seguidos pelas escadas (em média, 1,88 Pt/MPa/m³), pelas vigas (em média, 4,26 Pt/MPa/m³) e pelos pilares (em média, 7,34 Pt/MPa/m³). De forma geral, as diferenças entre os elementos estruturais foram acentuadas para menores níveis de resistência: os pilares II30 e IV30 impactam, em média, 1,9 vezes mais que as vigas, 4,1 mais que as escadas e 4,7 mais que as lajes de mesmos traços. Paralelamente, considerando-se os traços II50 e IV50, os pilares impactam

1,5 vezes mais que as vigas e 3,5 mais que as lajes e as escadas correspondentes, em média.

Podem-se destacar, portanto, as lajes como os elementos estruturais ambientalmente mais sustentáveis, na medida em que a elas estão associados os menores impactos ambientais unitários 1,36, 1,37, 2,10 e 2,12 Pt/MPa/m³, respectivamente para os traços IV50, II50, IV30 e II30. Em contrapartida, os pilares destacaram-se como os elementos estruturais que mais contribuem para a geração dos impactos ambientais, 4,81 Pt/MPa/m³ para o traço IV50, 4,82 Pt/MPa/m³ para II50, 9,86 Pt/MPa/m³ para IV30 e 9,88 Pt/MPa/m³ para II30. Com base nesses dados, destaca-se a importância do dimensionamento e detalhamento otimizados, principalmente para os pilares quando da consideração da sustentabilidade como uma premissa de projeto.

Observando-se os impactos ambientais por elemento estrutural em valores absolutos e unitários, percebe-se que os respectivos coeficientes de variação são acentuados quando do cálculo unitário: 24,8% para lajes, 27,5% para vigas, 31,9% para escadas e 39,8% para pilares. Isso indica que as análises unitárias, assim como verificado para a edificação, são mais adequadas para retratar as diferenças de sustentabilidade entre as peças estruturais, sendo elas empregadas, na sequência, para a integração dos aspectos ambientais com os aspectos econômicos.

Conforme apresentado nas análises precedentes, as diferenças entre os traços estudados, não apenas para os elementos estruturais isoladamente, mas, também, quando da consideração da edificação como um todo, são muito mais expressivas com a variação do nível de resistência à compressão axial do que com a mudança no tipo de cimento para uma mesma classe de f_{ck} .

4.2 Custo do Ciclo de Vida

Com base nos consumos de materiais, puderam-se calcular os custos necessários à execução da estrutura, considerando-se a abordagem do berço ao portão de obra, em conformidade ao estudo de ACV realizado. Os resultados obtidos para a edificação como um todo e por elemento estrutural estão apresentados a seguir, com base nas Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO,

2008) e nos índices econômicos referentes ao mês de abril/2015 do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (BRASIL, 2015) e do Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado do Rio Grande do Sul (SINDUSCON-RS, 2015).

As planilhas de custos unitários e o detalhamento do orçamento seguem apresentados no Apêndice F.

4.2.1 Custos da edificação

Na Figura 30 a seguir, estão apresentados os custos iniciais associados à edificação como um todo para cada traço de concreto estudado. Obtiveram-se os seguintes resultados: R\$ 500.756,52, R\$ 494.386,67, R\$ 501.458,89 e R\$ 492.974,68, respectivamente, para os traços II30, IV30, II50 e IV50.

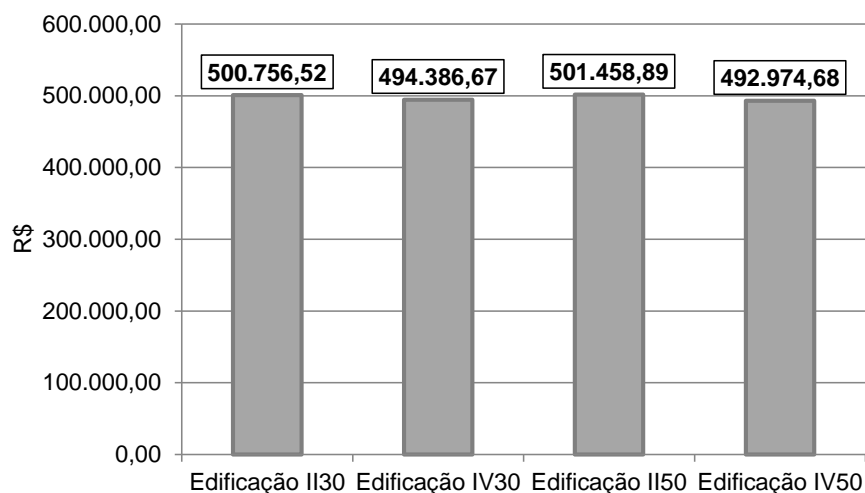


Figura 30 – Custos iniciais por traço de concreto da edificação

Em geral, os custos foram bastante semelhantes, com pequenas variações decorrentes do tipo de cimento e do nível de resistência, o que pode ser verificado com o custo médio de R\$ 497.394,19 bastante próximo aos resultados individuais e pelo baixo coeficiente de variação, calculado em 0,9%.

Para os diferentes valores de f_{ck} , os resultados bastante semelhantes podem ser atribuídos aos maiores consumos de materiais demandados quando da adoção

de um concreto de menor resistência característica o qual exigiu maiores seções de concreto, com consequentes formas de madeira de maiores dimensões e, também, maiores taxas de armadura para o suporte das solicitações de projeto, compensando o menor custo unitário por metro cúbico de concreto. Por sua vez, para um mesmo nível de resistência, a variação no tipo de cimento provocou sutis diferenças de custos em decorrência da consideração do aumento de 5% no custo final do concreto quando do emprego do cimento CP II-Z em relação ao CP IV.

Além dos valores absolutos, foram calculados os custos unitários da edificação, em $R\$/MPa/m^3$, de maneira análoga aos impactos ambientais. Os resultados obtidos estão apresentados a seguir, na Figura 31. Verifica-se tendência de agrupamento dos resultados de acordo com os níveis de resistência, sendo essa variável a principal responsável pelas diferenças nos custos unitários. Os menores custos unitários estão associados à maior resistência característica do concreto: $R\ \$ 30,04/MPa/m^3$ para o traço IV50 e $R\ \$ 30,56/MPa/m^3$ para o traço II50. Por sua vez, a menor resistência característica do concreto conduziu aos maiores custos unitários: $R\ \$ 45,44/MPa/m^3$ para o traço IV30 e $R\ \$ 46,02/MPa/m^3$ para o traço II30.

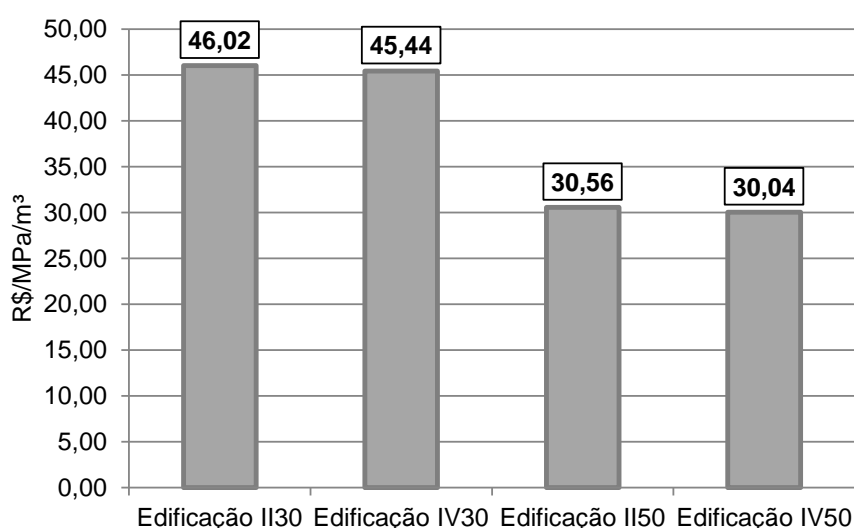


Figura 31 – Custos iniciais unitários por traço de concreto da edificação

Em média, o custo unitário obtido foi de $R\ \$ 38,02/MPa/m^3$ e o coeficiente de variação entre os resultados individuais foi de 23,4%. Essa dispersão, se comparada ao percentual referente à análise absoluta (0,9%), indica que as análises unitárias são mais acuradas para a contabilização das diferenças de custos oriundas dos

tipos de cimento e dos níveis de resistência que compuseram os traços de concreto estudados, sendo utilizadas, portanto, para a integração com os resultados referentes aos impactos ambientais.

Fazendo-se um paralelo com o presente estudo, ao analisar os custos envolvidos com a execução do pilar considerando-se os mesmos traços, Silva, A. (2014) constatou que o traço II50 apresentou os menores custos (R\$ 467,52 e R\$ 8,26/MPa), enquanto que o traço IV30 destacou-se pelos maiores custos (R\$ 496,07 e R\$ 13,55/MPa). A partir da análise unitária (R\$/MPa), a autora verificou que as maiores diferenças entre os custos foram oriundas da variação do nível de resistência, corroborando os resultados da presente pesquisa.

Lamberti (2015), por sua vez, concluiu que, na abordagem do berço ao túmulo, os custos principais estão associados à pintura e à lavagem das fases de uso e manutenção, superando, inclusive, os custos de construção do pilar. Considerando-se apenas os materiais comuns ao presente estudo, o menor custo total foi estimado para o pilar de traço II30 (R\$ 1.112,81) e o maior custo para o traço II50 (R\$ 1.840,93). Sob análise unitária (R\$/MPa/ano de vida útil), foi verificado que o aumento do nível de resistência reduz os custos, sendo o menor custo unitário referente ao traço IV50 (R\$ 0,21/MPa/ano) e o maior referente ao traço IV30 (R\$ 0,92/MPa/ano), para o qual se previu pintura para prolongamento da vida útil.

Além da abordagem dos custos iniciais apresentada, pode-se proceder uma análise detalhada dos custos por material utilizado na composição da estrutura de concreto armado: concreto, aço e formas. Na Tabela 22, as contribuições parciais foram calculadas em termos percentuais em relação ao custo inicial total para cada traço de concreto das edificações, conforme orçamento realizado.

Tabela 22 – Contribuições percentuais dos materiais nos custos iniciais por traço de concreto da edificação

Materiais	Edificação II30	Edificação IV30	Edificação II50	Edificação IV50
Concreto	26,7	25,8	35,5	34,4
Aço	51,4	52,0	43,0	43,8
Formas	21,9	22,2	21,4	21,8

A partir desses resultados, destaca-se o aço, assim como na análise da contribuição percentual dos impactos ambientais, como o material responsável pelos

maiores custos, em média, com 47,5% dos custos iniciais da edificação. Na sequência tem-se o concreto, com 30,6%, e as formas, com 21,8% das contribuições. Muito embora o aço apresente os menores custos unitários, conforme consta nas planilhas de orçamentação, se comparado ao concreto e às formas, seu consumo é superior, justificando sua colocação frente aos demais materiais.

4.2.2 Custos dos elementos estruturais

Os custos relacionados à edificação como unidade funcional podem ser desmembrados para uma análise detalhada acerca das contribuições por tipo de elemento estrutural: vigas, pilares, lajes e escadas, de maneira que a soma dos custos parciais totalize os custos associados à edificação como um todo. Os resultados obtidos a partir de tal análise seguem apresentados abaixo na Figura 32 e, na Tabela 23, estão dispostos os custos médios por elemento estrutural e os coeficientes de variação calculados com base nos resultados individuais dos quatro traços de concreto.

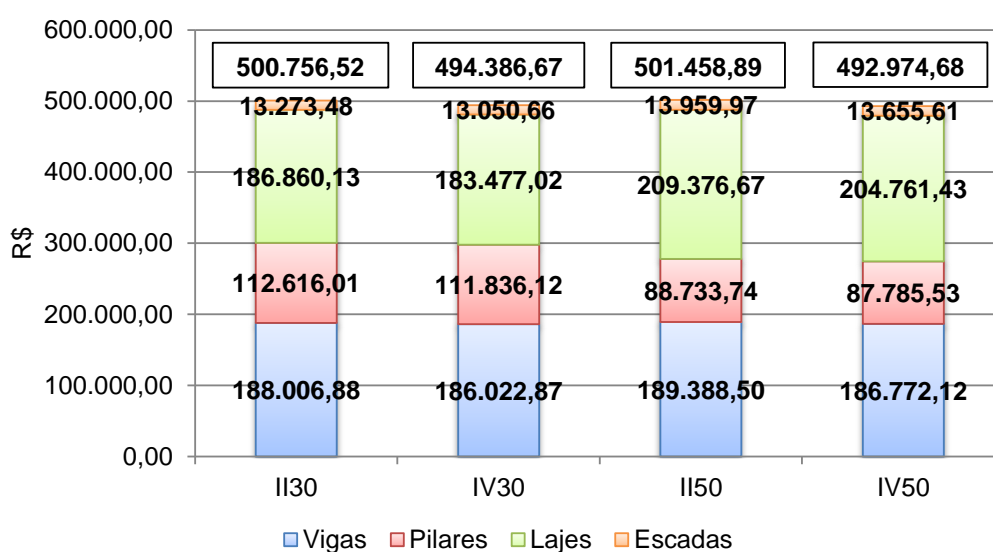


Figura 32 – Custos iniciais por traço de concreto dos elementos estruturais

Tabela 23 – Custos iniciais médios e coeficientes de variação dos elementos estruturais

Elementos	Vigas	Pilares	Lajes	Escadas
Média (R\$)	187.547,59	100.242,85	196.118,81	13.484,93
Coef. Var. (%)	0,8	13,8	6,6	3,0

De posse dessas análises, pode-se inferir que os menores custos iniciais médios estão associados, em sequência crescente, às escadas, (R\$ 13.484,93), aos pilares (R\$ 100.242,85), às vigas (R\$ 187.547,59) e, por fim, às lajes (R\$ 196.118,81). Quanto à variabilidade dos custos obtidos por elemento estrutural, constatou-se que a menor dispersão se deu para as vigas, seguidas pelas escadas, pelas lajes e pelos pilares em decorrência dos coeficientes de variação calculados, respectivamente, 0,8%, 3,0%, 6,6% e 13,8%.

Complementando as verificações apresentadas, procedeu-se, ainda, com o cálculo unitário dos custos referidos aos elementos estruturais que compõem a edificação para fins de uniformização de resultados em relação aos níveis de resistência e aos consumos de materiais. Seguem apresentados, na Figura 33, os resultados obtidos em $R\$/MPa/m^3$, seguidos pela Tabela 24, na qual constam os custos unitários médios e os coeficientes de variação das peças estruturais.

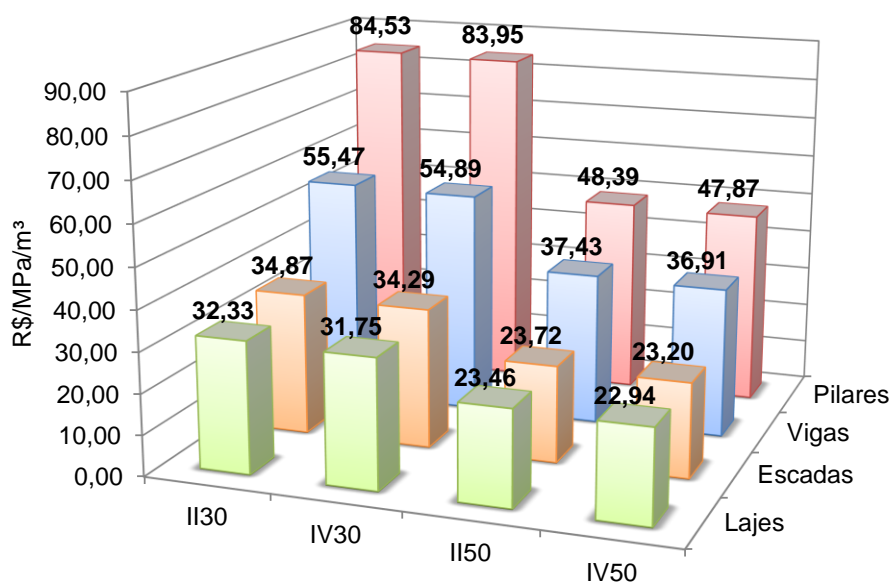


Figura 33 – Custos iniciais unitários por traço de concreto dos elementos estruturais

Tabela 24 – Custos iniciais unitários médios e coeficientes de variação dos elementos estruturais

Elementos	Vigas	Pilares	Lajes	Escadas
Média (R\$/MPa/m ³)	46,18	66,18	27,62	29,02
Coef. Var. (%)	22,5	31,5	18,5	22,2

Comparativamente, para um mesmo elemento estrutural, as diferenças entre os custos unitários são mais acentuadas pelos diferentes níveis de resistência que pelos diferentes tipos de cimento. Para todos os elementos, constatou-se que o f_{ck} 50 MPa contabilizou menores custos unitários se comparado ao f_{ck} 30 MPa e, para um mesmo nível de resistência, a utilização de cimento CP IV está vinculada a menores custos, embora sem expressivas variações, em relação ao CP II-Z, o que pode ser verificado pela proximidade entre os resultados individuais para um mesmo f_{ck} .

As lajes foram os elementos que apresentaram os menores custos por unidade de resistência e de volume (R\$ 27,62/MPa/m³), seguidas pelas escadas (R\$ 29,02/MPa/m³), pelas vigas (R\$ 46,18/MPa/m³) e pelos pilares (R\$ 66,18/MPa/m³). Para o nível de resistência inferior, os pilares de traços II30 e IV30 custam, em média, 1,5 vezes mais que as vigas, 2,4 mais que as escadas e 2,6 mais que as lajes correspondentes, enquanto que, para o nível de resistência superior, os pilares II50 e IV50 custam, em média, 1,3 vezes mais que as vigas e 2,1 mais que as escadas e as lajes.

Quanto aos coeficientes de variação, as menores dispersões foram obtidas para as lajes, com 18,5%, seguidas pelas escadas, com 22,2%, pelas vigas, com 22,5%, e, por fim, pelos pilares, com 31,5%. Em relação aos respectivos coeficientes apresentados na Tabela 23, referentes à análise absoluta dos custos, corroborou-se a constatação já apresentada na análise dos impactos ambientais: os resultados unitários são preferíveis aos absolutos por melhor apresentarem as diferenças entre os traços estudados.

Dessa forma, de acordo com os custos anteriormente apresentados para a edificação como um todo e para os elementos estruturais, conclui-se que, em valores absolutos, o nível de resistência e o tipo de cimento são responsáveis por discretas variações nos resultados. Sob outro aspecto, quando da consideração dos custos unitários, o aumento do nível de resistência mostrou-se economicamente

viável e se revelou, também, responsável por influências mais expressivas nos custos iniciais se comparado ao tipo de cimento, destacando a análise unitária como a mais indicada para fins comparativos, conforme apresentado a seguir.

4.3 Análise integrada de sustentabilidade e de custo

A definição da melhor alternativa dentre os traços de concreto contemplados por este estudo perpassou pela integração dos aspectos ambientais e econômicos. A partir dos impactos ambientais e dos custos unitários, os quais explicitaram mais claramente as diferenças entre os níveis de resistência e os tipos de cimento, foram calculados os índices de impacto ambiental unitário (I_a) e de custo unitário (I_c), ambos adimensionais, e, por fim a média geométrica para cada traço. A seguir, apresentam-se os resultados obtidos para a edificação e para os elementos estruturais.

4.3.1 Análise integrada da edificação

A Tabela 25 apresenta os índices I_a e I_c e a média geométrica $(I_a \cdot I_c)^{0,5}$ para a edificação, referenciados ao traço IV50, por esse totalizar os menores impactos ambientais e custos unitários. Na seqüência, tem-se a Figura 34 para melhor visualização comparativa dos valores finais.

Tabela 25 – Índices unitários e médias geométricas por traço de concreto da edificação

Traço	Impacto ambiental unitário (Pt/MPa/m ³)	Índice de impacto ambiental unitário (I_a)	Custo unitário (R\$/MPa/m ³)	Índice de custo unitário (I_c)	Média geométrica $(I_a \cdot I_c)^{0,5}$
II30	4,07	174,84	46,02	153,18	163,65
IV30	4,05	174,13	45,44	151,23	162,27
II50	2,34	100,47	30,56	101,72	101,09
IV50	2,33	100,00	30,04	100,00	100,00

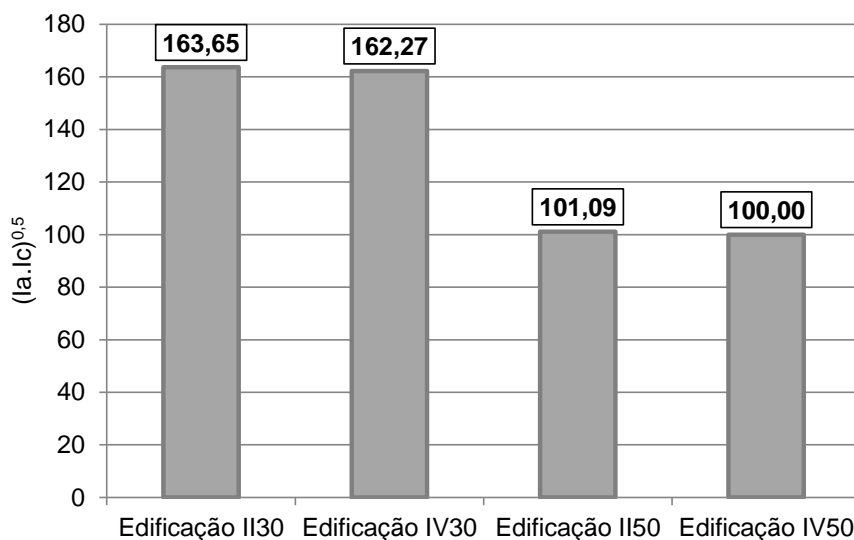


Figura 34 – Índices globais por traço de concreto da edificação

A edificação de traço IV50, referência, totalizou menor média geométrica (100,00), seguida por II50 (101,09), IV30 (162,27) e II30 (163,65). Com base nos índices globais, pode-se afirmar que, em termos de sustentabilidade e de custo, a melhor combinação cimento-resistência é dada pelo cimento CP IV e pela resistência característica à compressão de 50 MPa, enquanto que os piores resultados apontam para o cimento CP II-Z e resistência característica de 30 MPa.

Nesse caso, o aumento da resistência característica à compressão axial de 30 para 50 MPa (variação de 20 MPa) ocasiona, um decréscimo médio no índice global de 162,96 (traços II30 e IV30) para 100,55 (traços II50 e IV50), com variação de 62,42 pontos, o que representa 3,12 pontos por cada MPa de aumento no f_{ck} . Constata-se, portanto, que o aumento no nível de resistência de 30 para 50 MPa é benéfico, sendo preferível o dimensionamento da estrutura para o nível de resistência superior.

Sob outro aspecto, ao considerar-se o efeito do tipo de cimento, em média, o cimento CP II-Z (traços II30 e II50) está associado a 132,37 pontos, ao passo que, ao cimento CP IV (traços IV30 e IV50), associam-se, em média, 131,14 pontos referidos aos índices globais, o que representa uma diferença de 1,23 ponto por tipo de cimento. Logo, embora o cimento CP IV tenha apresentado melhor desempenho se comparado ao CP II-Z, a variação do tipo de cimento não está associada a expressivos benefícios ambientais e econômicos, visto que as médias geométricas apresentaram pequena diferença numérica.

Portanto, conclui-se que o aumento da resistência à compressão da estrutura da edificação apresenta melhoria muito mais expressiva na sustentabilidade e nos custos globais se comparado ao tipo de cimento.

Silva, A. (2014), ao calcular os índices ambientais e econômicos, também concluiu que o nível de resistência exerce maior influência nos resultados que o tipo de cimento, sendo o f_{ck} 50 MPa associado aos menores índices, com destaque ao traço IV50. Lamberti (2015) ratifica os resultados de Silva, A. (2014), na medida em que verificou o melhor desempenho ambiental e econômico para o nível de resistência do concreto superior. Contudo, destaca o autor, a integração de resultados não permitiu a definição do melhor tipo de cimento em decorrência da não verificação do mesmo desempenho em relação aos dois valores de f_{ck} .

Além dos trabalhos de Silva, A. (2014) e Lamberti (2015), precedentes a esta pesquisa, poucos estudos com escopos e materiais semelhantes, passíveis de comparações pormenorizadas como as realizadas, foram localizados na literatura. Muito embora a Avaliação do Ciclo de Vida constitua uma metodologia já consagrada para a análise dos impactos ambientais, constatou-se uma carência de resultados acerca da sustentabilidade do concreto como material estrutural em edificações e em elementos estruturais. No entanto, sob esse viés, podem-se destacar, ainda, duas publicações: Bento et al. (2013) e Saade et al. (2013), sumariamente já abordadas no referencial teórico (item 2.4.5).

Bento et al. (2013) realizaram um estudo sobre o ciclo de vida de uma edificação de concreto armado dimensionada para as resistências características de 25, 30 e 35 MPa. Para o modelo de 30 MPa, foram mantidas as mesmas seções quando do dimensionamento para 25 MPa ao passo que, para o modelo de 35 MPa, promoveu-se a redução das seções, possibilitada pelo aumento do f_{ck} . Quanto aos impactos ambientais, foram consideradas as seguintes categorias: eutrofização, formação de ozônio fotoquímico, aquecimento global, toxicidade humana, acidificação, ecotoxicidade, consumo de recursos materiais (renováveis e não renováveis) e consumo de recursos energéticos (renováveis e não renováveis).

Os autores verificaram que estrutura dimensionada com concreto de maior resistência, isto é, classe C35, apresentou melhor desempenho frente aos impactos ambientais para todas as categorias analisadas. À exceção das categorias de aquecimento global, acidificação e geração de resíduos, a estrutura de classe de resistência C30 apresentou resultados intermediários e, por fim, a classe C25

revelou-se, em relação às demais categorias, a pior alternativa. Ainda foi apresentada uma breve análise de custos, na qual se destaca, novamente, a estrutura C35 com menor custo frente às demais. Portanto, corroborando os resultados apresentados na presente dissertação, o estudo de Bento et al. (2013) destaca a sustentabilidade para o dimensionamento da estrutura quando do emprego de maiores resistências características, além do evidente benefício de redução das seções dos elementos estruturais.

Por sua vez, Saade et al. (2013) avaliaram três tipos de cimentos Portland, comum (CP I-S 32), composto (CP II-E 32) e alto-forno (CP III 32), além de diferentes resistências características do concreto à compressão, de 25 a 60 MPa, totalizando vinte e um traços, hipoteticamente empregados para a execução de um elemento estrutural linear, como uma viga ou um pilar de concreto armado. Os indicadores ambientais considerados foram: energia incorporada renovável e não renovável, potencial de aquecimento global, potencial de acidificação, potencial de eutrofização, potencial de formação de ozônio fotoquímico, potencial de depleção da camada de ozônio, pegada de água azul e consumo de matéria-prima não renovável.

Primeiramente, os resultados dos impactos ambientais associados a cada traço foram normalizados por unidade de resistência, tomando-se como base o f_{ck} 25 MPa, procedimento similar ao cálculo por índices apresentado anteriormente. Os autores concluíram haver redução nos indicadores com o aumento da resistência característica do concreto, indicativo de melhoria no desempenho ambiental, com ressalva às categorias de aquecimento global e energia incorporada não renovável por apresentarem pequenas variações em comparação aos demais parâmetros para os cimentos CP I-S e CP II-E. Indo ao encontro dos resultados obtidos nesta dissertação, o emprego de concretos de maiores resistências mostrou-se ambientalmente mais sustentável.

A publicação ainda realizou análise normalizada a partir da estimativa de vida útil, pois se considerou a localização do elemento estrutural em região exposta à ação de cloretos. Sob esse enfoque, verificou-se aumento da vida útil com o aumento de resistência e do teor de escória, contudo, os impactos potenciais aquecimento global e energia incorporada não renovável também totalizaram incrementos, o que foi atribuído pelos autores ao fato de que o incremento de vida útil não compensou os maiores impactos associados ao maior teor de clínquer.

4.3.2 Análise integrada dos elementos estruturais

Por fim, tem-se, na Tabela 26, os índices I_a e I_c e a média geométrica $(I_a \cdot I_c)^{0,5}$ detalhados por elemento estrutural, referenciados ao traço IV50 dos elementos de lajes, por apresentarem, em média, os menores impactos ambientais e os menores custos unitários associados. Na sequência, apresenta-se a Figura 35 com a compilação dos resultados globais para melhor entendimento.

Tabela 26 – Índices unitários e médias geométricas por traço de concreto dos elementos estruturais

Elemento estrutural	Traço	Impacto ambiental unitário (Pt/MPa/m ³)	Índice de impacto ambiental unitário (I_a)	Custo unitário (R\$/MPa/m ³)	Índice de custo unitário (I_c)	Média geométrica $(I_a \cdot I_c)^{0,5}$
Vigas	II30	5,28	388,78	55,47	241,81	306,61
	IV30	5,27	387,56	54,89	239,26	304,51
	II50	3,25	239,36	37,43	163,15	197,62
	IV50	3,24	238,56	36,91	160,90	195,92
Pilares	II30	9,88	727,17	84,53	368,48	517,64
	IV30	9,86	725,96	83,95	365,93	515,41
	II50	4,82	354,72	48,39	210,92	273,53
	IV50	4,81	353,91	47,87	208,67	271,76
Lajes	II30	2,12	155,95	32,33	140,95	148,26
	IV30	2,10	154,73	31,75	138,39	146,34
	II50	1,37	100,81	23,46	102,25	101,53
	IV50	1,36	100,00	22,94	100,00	100,00
Escadas	II30	2,41	177,35	34,87	152,01	164,19
	IV30	2,39	176,13	34,29	149,46	162,25
	II50	1,37	100,69	23,72	103,38	102,03
	IV50	1,36	99,89	23,20	101,13	100,50

Para todos os elementos estruturais analisados, as menores médias geométricas foram totalizadas para o traço IV50, seguido pelos traços II50, IV30 e II30. Da mesma forma que na análise global da edificação, o dimensionamento dos elementos para f_{ck} 50 MPa e o emprego de cimento CP IV constituíram a melhor alternativa quanto aos aspectos sustentabilidade e custo, enquanto que o pior desempenho está associado ao f_{ck} 30 MPa juntamente ao cimento CP II-Z.

Assim sendo, o aumento de f_{ck} de 30 para 50 MPa (variação de 20 MPa) foi responsável pela redução média de nos índices globais de 147,30 (traços II30 e IV30) pontos para 100,76 (traços II50 e IV50) nas lajes, 163,22 para 101,27 nas

escadas, 305,56 para 196,77 nas vigas e 516,53 para 272,64 nos pilares. Logo, as diferenças de 46,53, 61,95, 108,80 e 243,88 pontos resultaram, respectivamente, em uma redução de 2,33 pontos nas lajes, 3,10 nas escadas, 5,44 nas vigas e 12,19 nos pilares por aumento unitário de resistência, em *MPa*.

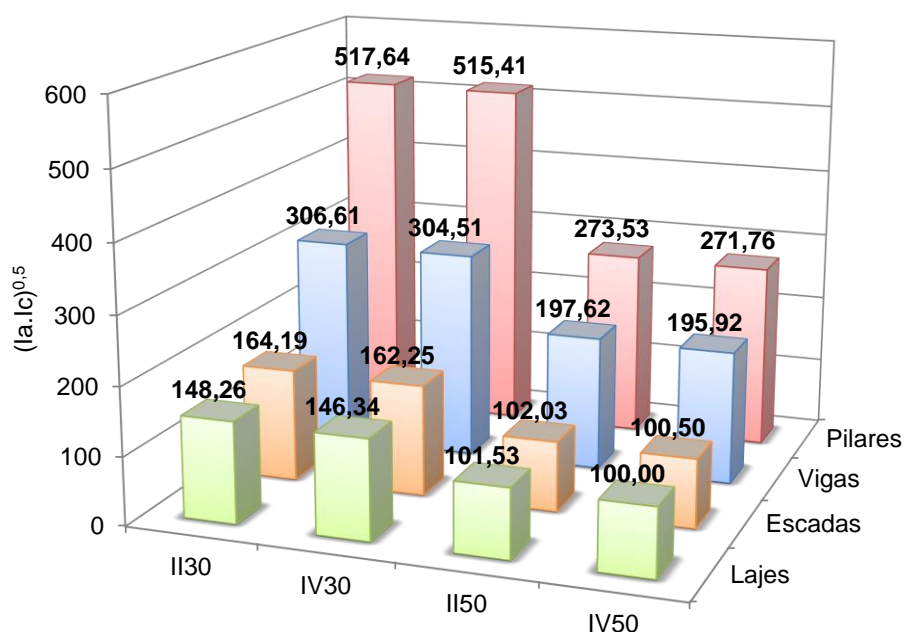


Figura 35 – Índices globais por traço de concreto dos elementos estruturais

Sob o viés do tipo de cimento, o CP II-Z (traços II30 e II50) está relacionado, em média, a 124,89 pontos nas lajes, 133,11 pontos nas escadas, 252,12 pontos nas vigas e 395,59 pontos nos pilares. Já o CP IV (traços IV30 e IV50) relaciona-se, em média, a 123,17 pontos nas lajes, 131,38 pontos nas escadas, 250,22 pontos nas vigas e 393,58 pontos nos pilares. As diferenças, portanto, totalizam 1,73 ponto nas lajes e nas escadas, 1,90 nas vigas e, por fim, 2,00 pontos nos pilares, valores pequenos se comparados aos obtidos na análise de resistência.

Pode-se inferir, portanto, com base nas médias geométricas globais e nas análises comparativas, que, para todos os elementos estruturais, o nível de resistência exerce maior influência na sustentabilidade e no custo se comparado ao tipo de cimento. Além disso, as diferenças são acentuadas para os pilares, seguidos pelas vigas, escadas e, por fim, pelas lajes, sendo, portanto, as lajes os elementos de melhor desempenho quanto aos critérios de custo financeiro e impactos ambientais.

5 CONCLUSÕES

A análise e o dimensionamento estrutural da edificação para os níveis de resistência característica à compressão axial do concreto de 30 e 50 MPa totalizaram os quantitativos de concreto, aço e formas. Os resultados obtidos revelaram que o dimensionamento para o nível de resistência do concreto de 30 MPa conduz a maiores consumos de materiais, 2,6% para concreto, 20,4% para aço e 2,1% para formas, em relação ao concreto de 50 MPa. Além do f_{ck} , foram variados os tipos de cimento entre CP II-Z e CP IV, definindo-se quatro traços de concreto: II30, IV30, II50 e IV50.

A análise dos impactos ambientais individuais para a Avaliação do Ciclo de Vida da edificação contemplou as cinco categorias principais para a construção civil, de acordo com metodologia de ACV-m: mudanças climáticas, uso de recursos naturais, consumo de energia, geração de resíduos e consumo de água, além da pegada de carbono. Os resultados absolutos e unitários conduzem a conclusões semelhantes: a categoria recursos naturais é responsável pelos maiores impactos ambientais potenciais, seguida por mudanças climáticas, geração de resíduos, consumo de energia e consumo de água. Comparativamente, as edificações dimensionadas para concreto de resistência 50 MPa apresentaram menores impactos ambientais que as de 30 MPa. Além disso, embora o tipo de cimento exerça menor influência nos resultados se comparado ao f_{ck} , para um mesmo nível de resistência (50 MPa) o cimento CP II-Z mostrou-se mais sustentável para as categorias recursos naturais (56,56 Pt/MPa/m³.10²), geração de resíduos (3,177 Pt/MPa/m³.10²) e consumo de energia (0,55 Pt/MPa/m³.10²), enquanto que o CP IV é responsável por menores impactos nas categorias mudanças climáticas (20,33 Pt/MPa/m³.10²) e consumo de água (0,0061 Pt/MPa/m³.10²). Quanto à análise da pegada de carbono, as menores emissões atmosféricas de CO_{2eq} foram associadas ao f_{ck} 50 MPa com pequena vantagem do cimento CP II-Z (3,25 t CO_{2eq}/MPa/m³.10²) em relação ao CP IV (3,26 t CO_{2eq}/MPa/m³.10²).

Na sequência, considerando-se os impactos ambientais totais referidos à edificação para a Avaliação do Ciclo de Vida, o traço IV50 revelou-se mais sustentável (38,15 kPt), seguido pelos traços II50 (38,33 kPt), IV30 (44,05 kPt) e II30

(44,23 kPt). Quantificando-se os impactos ambientais em função dos processos associados aos materiais que compõem a edificação, em termos percentuais, destaca-se o aço como o principal responsável, em média, para todos os traços, por 86,1% dos impactos. Na sequência, tem-se o concreto e as formas, contribuindo, respectivamente, com 8,4% e 5,5% dos impactos potenciais. Quanto aos elementos estruturais, destacam-se as escadas com os menores impactos ambientais totais médios entre os traços estudados (0,86 kPt), seguidas pelos pilares (10,99 kPt), pelas lajes (12,19 kPt) e pelas vigas (17,15 kPt).

Sob o viés do Custo do Ciclo de Vida, as edificações analisadas apresentaram custos iniciais bastante semelhantes entre si, em média R\$ 497.394,19, haja vista o coeficiente de variação totalizado em 0,9%. Destacou-se o aço como principal material contribuinte para a composição dos custos iniciais, responsável por 47,5% dos custos, sucedido pelo concreto, com 30,6%, e pelas formas, com 21,8% da contribuição média nos traços considerados. Dentre os elementos estruturais, as escadas apresentaram menores custos iniciais médios (R\$ 13.484,93), seguidas pelos pilares (R\$ 100.242,85), pelas vigas (R\$ 187.547,59) e, por fim, pelas lajes (R\$ 196.118,81).

A definição da melhor alternativa dentre os traços estudados foi realizada integrando-se os aspectos ambientais e econômicos pelo cálculo da média geométrica entre os índices de impacto ambiental unitário (I_a) e de custo unitário (I_c). Foram utilizados os valores unitários por expressarem mais claramente as diferenças de sustentabilidade e de custos entre os elementos. Para a edificação, o traço IV50 tomado como referência apresentou menores impactos ambientais e custos unitários (2,33 Pt/MPa/m³ e R\$ 30,04/MPa/m³, respectivamente) e, conseqüentemente, melhor desempenho tendo-se em vista seu menor índice global ($I = 100,00$), seguido pelos traços II50 ($I = 101,09$), IV30 ($I = 162,27$) e II30 ($I = 163,65$). O aumento da resistência característica do concreto de 30 para 50 MPa representou um decréscimo médio de 62,42 pontos, ou, sob enfoque unitário, 3,12 pontos/MPa. A variação do tipo de cimento de CP II-Z para CP IV, por sua vez, está associada a uma redução média de 1,23 ponto, o que permite inferir que o aumento do nível de resistência conduz a melhorias mais expressivas para a sustentabilidade e para o custo se comparado à variação do tipo de cimento.

Quando da análise dos elementos estruturais separadamente, verificou-se que os impactos ambientais e os custos unitários médios são menores nos

elementos de lajes (1,74 Pt/MPa/m³ e R\$ 27,62/MPa/m³, respectivamente), seguidas pelas escadas (1,88 Pt/MPa/m³ e R\$ 29,02/MPa/m³, respectivamente), pelas vigas (4,26 Pt/MPa/m³ e R\$ 46,18/MPa/m³, respectivamente) e pelos pilares (7,34 Pt/MPa/m³ e R\$ 66,18/MPa/m³, respectivamente). A análise global por índices, ratificou as análises parciais de I_a e I_c , estando o aumento da resistência característica do concreto de 30 a 50 MPa associado à redução de 46,53 pontos para lajes (2,33 pontos/MPa), 61,95 pontos para escadas (3,10 pontos/MPa), 108,80 pontos para vigas (5,44 pontos/MPa) e 243,88 pontos para pilares (12,19 pontos/MPa). Quanto ao tipo de cimento, as diferenças totalizaram 1,73 ponto para lajes e escadas, 1,90 ponto para vigas e 2,00 pontos para pilares, com melhor desempenho associado ao cimento CP IV em relação ao CP II-Z, destacando, novamente, o critério resistência do concreto frente ao tipo de cimento para fins de sustentabilidade e de custo. Diante desses aspectos, evidenciou-se o melhor desempenho das lajes, seguidas pelas escadas, pelas vigas e, por fim, pelos pilares. Ratificou-se, também, os melhores desempenhos ambiental e econômico para o traço IV50 para todos os elementos estruturais.

Portanto, para o presente estudo de caso, considerando-se as premissas de projeto adotadas e os materiais empregados, pode-se afirmar que:

- o aumento de resistência característica do concreto de 30 para 50 MPa reduz o consumo de materiais;
- a análise unitária por unidade de resistência e de volume dos impactos e dos custos revelou-se mais precisa na expressão das diferenças entre os traços de concreto estudados;
- o aumento do nível de resistência é favorável à sustentabilidade ao reduzir os impactos ambientais associados;
- embora a variação do tipo de cimento não conduza a melhorias expressivas, de modo geral, o emprego de CP IV apresenta melhor desempenho à sustentabilidade se comparado ao CP II-Z;
- os elementos estruturais de lajes são os responsáveis pelos menores impactos ambientais e custos iniciais unitários, seguidos pelas escadas, vigas e pilares;

- a análise conjunta de impactos ambientais e custos econômicos sugere que a solução de melhor relação custo financeiro – benefício ambiental é dada pelo traço IV50, seguido por II50, IV30 e, por fim, II30.

Uma limitação desta pesquisa consiste na indisponibilidade de dados locais para a composição dos inventários de aditivo químico, de água e de madeira na Avaliação do Ciclo de Vida, fazendo-se necessária a utilização dos inventários constantes no *software* os mais semelhantes possíveis, oriundos de bases de dados internacionais. Outra limitação a ser destacada é o caráter parcial da Avaliação do Ciclo de Vida, do berço ao portão, na medida em que o estudo abrange as etapas de processamento e transporte de matérias primas, de usinagem, mistura e transporte do concreto e de execução da estrutura de concreto armado.

Para trabalhos futuros, sugere-se o estudo do ciclo de vida completo da edificação, com a consideração de questões de durabilidade e com a inclusão das etapas de utilização da edificação e destinação final após o término da vida útil. Sugere-se, também, a realização de estudo semelhante com a consideração de edificações de diferentes tipologias de lajes, a exemplo de pré-moldadas, nervuradas e alveolares. Por fim, sugere-se, ainda, a realização de análises que contemplem edificações de diferentes portes, estabelecendo-se comparativos entre impactos ambientais, custos e relação custo financeiro – benefício ambiental com a presente pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Relatório de ensaios de caracterização do cimento**. São Paulo, SP, 2013.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732**: Cimento Portland comum. Rio de Janeiro, 1991a.

_____. **NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991b.

_____. **NBR 5735**: Cimento Portland de alto-forno. Rio de Janeiro, 1991c.

_____. **NBR 5736**: Cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro, 1999.

_____. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015a.

_____. **NBR 5739**: Concreto – Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014a.

_____. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009a.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997a.

_____. **NBR 7809**: Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 11578**: Cimento Portland composto – Especificação. Rio de Janeiro, 1997b.

_____. **NBR 11579**: Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (n° 200). Rio de Janeiro, 2013b.

_____. **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação. Rio de Janeiro, 2015b.

_____. **NBR ISO 14001**: Sistemas da gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2014b.

_____. **NBR ISO 14044**: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2014c.

_____. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Mercosul, 2001a.

_____. **NBR NM 30**: Agregado miúdo – Determinação da absorção de água. Mercosul, 2001b.

_____. **NBR NM 43**: Cimento Portland – Determinação da pasta de consistência normal. Mercosul, 2003a.

_____. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Mercosul, 2006.

_____. **NBR NM 51**: Agregado graúdo – Ensaio de abrasão “Los Angeles”. Mercosul, 2001c.

_____. **NBR NM 52:** Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Mercosul, 2009b.

_____. **NBR NM 53:** Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Mercosul, 2009c.

_____. **NBR NM 65:** Cimento Portland – Determinação do tempo de pega. Mercosul, 2003b.

_____. **NBR NM 248:** Agregados – Determinação da composição granulométrica. Mercosul, 2003c.

ABRAMAT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO. **Perfil da Cadeia Produtiva da Construção e da Indústria de Materiais e Equipamentos 2014.** FGV, 2014. 60 p.

ABRELPE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2013.** 2013. 114 p.

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil.** Série Sustentabilidade, volume 5. São Paulo: Blücher, 2011.

AÏTCIN, P. C. **High Performance Concrete.** London: E & FN SPON, 1998. 591 p.

ALWAER, H.; KIRK, D. Building sustainability assessment methods. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Engineering Sustainability**, v. 165, n. ES4, p. 241-253, dez. 2012.

ASSAHI, P. N. Sistema de Fôrma para Estrutura de Concreto. In: ISAIA, G.C. (Ed.). **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações.** São Paulo: IBRACON, 2005. v. 1, cap. 14, p. 407-437.

BARCELO, L. et al. Cement and carbon emissions. **Materials and Structures**, v.47, p. 1055-1065, 2014.

BATELLE; WBCSD. WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Toward a Sustainable Cement Industry – Climate Change.** 2002. 92 p.

BATTAGIN, A. F. Cimento Portland. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2011. v. 1, cap. 6, p. 185-232.

BAUMERT, K. A.; HERZOG, T.; PERSHING, J. **Navigating the numbers: Greenhouse Gas Data and International Climate Policy**. World Resources Institute, 2005. 132 p.

BENTO, R. C. et al. Análise do desempenho ambiental de estruturas de concreto armado: uso da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). In: 55º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2013, Gramado. **Anais...** Gramado: Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 2013.

BEZERRA, P. T. C.; HOLANDA, R. M. Reuso da água na indústria da construção. In: DANTAS NETO, J. (Org.). **Uso eficiente da água: aspectos teóricos e práticos**. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2008. p. 86-100.

BORGES, P. H. R. et al. Estudo comparativo da análise de ciclo de vida de concretos geopoliméricos e de concretos à base de cimento Portland composto (CP II). **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 14, n.2, p. 153-168, abr./jun. 2014.

BOULENGER, M. **Life Cycle Assessment of concrete structures using public databases: comparison of a fictitious bridge and tunnel**. 2011. 151 f. Master Thesis (Structural Design and Bridges) – Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden, 2011.

BRASIL. CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 307**, 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. 2002.

_____. DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral 2014**. Brasília: DNPM, 2014. 148 p.

_____. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria MTE n.º 644, de 09 de maio de 2013. **Norma Regulamentadora NR 18: Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção**. 1978. Disponível em <<http://portal.mte.gov.br/legislacao/norma-regulamentadora-n-18-1.htm>>. Acesso em 10 de março de 2015.

_____. SINAPI. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. **Relatório de Insumos – abr/15 – sem desoneração**. 2015. Disponível em <<http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-a-partir-jul-2014->

rs/SINAPI_Preco_Ref_Insumos_RS_042015_NaoDesonerado.PDF>. Acesso em 23 de maio de 2015.

BRONDANI, R. P.; MOHAMAD, G.; ISAIA, G. C. Sustentabilidade em projeto de estrutura em concreto armado. **Concreto & Construções**, São Paulo: IBRACON, ed. 177, p .92-96, jan.-mar. 2015.

BSRIA. THE BUILDING SERVICES RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION. **Environmental code of practice for buildings and their services**. Code of Practice COP 6/99, Edition 2, 1999.

CALIL JUNIOR, C.; LAHR, F. A. R. Madeiras para Fôrmas e Escoramentos de Estruturas. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2007. v. 2, cap. 37, p. 1231-1262.

CAPMAS, A. Prólogo: Concreto e desenvolvimento sustentável. Tradução: Isaia, G. C. In: OLLIVIER, J. P.; VICHOT, A. **Durabilidade do concreto**: Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente. São Paulo: IBRACON, 2014. cap. 1, p. 3-13.

CARVALHO, J. **Análise de Ciclo de Vida ambiental aplicada a construção civil**: Comparação entre cimentos Portland com adição de resíduos. 2002. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

CBCS. CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Avaliação de Ciclo de Vida Modular**. 2014a. Disponível em <<http://www.acv.net.br/website/acvs/show.asp?ppgCode=B7EEA3A3-747A-457B-8210-EC73F949FB82>>. Acesso em 06 de abril de 2015.

_____. **Sustentabilidade na indústria de blocos e pavimentos de concreto**: Avaliação de Ciclo de Vida Modular. 2014b. 94 p.

CBCS; PNUMA; MMA. CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL; PROGRAMA NACIONAL DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE; MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas**: Subsídios para a promoção da Construção Civil Sustentável. 2014. 111 p.

CEMBUREAU. THE EUROPEAN CEMENT ASSOCIATION. **The role of cement in the 2050 low carbon economy**. 2013. 64 p.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos** – Ferramenta Gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed. 1998. 104 p.

CIB; UNEP-IETC. THE INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION; UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY CENTRE. **Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries**: A discussion document. South Africa: CSIR Building and Construction Technology, 2002. 91 p.

CNI; ABCP. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Indústria brasileira de cimento**: Base para a construção do desenvolvimento. Brasília: CNI, 2012. 58 p.

COMMITTEE ON THE SCIENCE OF CLIMATE CHANGE. **Climate Change Science**: an analysis of some key questions. USA: National Academy Press, 2001. 36 p.

COSTA FILHO, E.; SILVA, S. R.; BRITO, I. G. G. Consumo de água em canteiros de obra da região metropolitana do Recife. In: ENCONTRO LATINOAMERICANO DE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 2013, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2013.

CURRAN, M. A. **Life Cycle Assessment**: Principles and Practice. Reston, Virginia: Scientific Applications International Corporation (SAIC), 2006. 88 p.

DAMINELI, B. L. et al. Measuring the eco-efficiency of cement use. **Cement & Concrete Composites**, v. 32, p. 555-562, 2010.

DHILLON, B. S. Life cycle cost: a survey. **Microelectron Reliab**, v. 21, n. 4, p. 495-511, 1981.

EUROPEAN COMMISSION; JOINT RESEARCH CENTRE; INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND SUSTAINABILITY. **International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook**: General guide for Life Cycle Assessment – Detailed guidance. 1. ed. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010. 417 p.

EUROPEAN PARLIAMENT; COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. Directive 2008/98/EC of The European Parliament and of The Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. **Official Journal of the European Union**. 2008.

GAGNON, B.; LEDUC, R.; SAVARD, L. From a conventional to a sustainable engineering design process: different shades of sustainability. **Journal of Engineering Design**, v. 23, n. 1, p. 49-74, jan. 2012.

GUOGUO, L. **Integration of LCA and LCC for decision making in sustainable building industry**. Chalmers University of Technology, 2009. 35 p.

HA, J.; KWAK, D. K.; LEE, T. S. Integrated economical-environmental decision-making on wastewater treatment plant construction project. In: **US-Korea Conference on Science, Technology and Entrepreneurship**, Teaneck, NJ. 2006. Proceedings. Vienna (VA): Korean-American Scientist and Engineers Association, 2006, (Paper CET-3.6).

HAMMOND, G.; JONES, C. **Inventory of Carbon & Energy: ICE – version 2.0**. UK: Sustainable Energy Research Team (SERT), Department of Mechanical Engineering, University of Bath, 2011. 216 p.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: PINI, 1992. 349 p.

HOEKSTRA, A. Y. **Water neutral: reducing and offsetting the impacts of water footprints**. Value of water research report series no. 28. Netherlands: UNESCO-IHE Institute for Water Education, 2008. 42 p.

HOEKSTRA, A. Y. et al. **The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard**. London-Washington: Earthscan, 2011. 228 p.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade 2013**. 2013. 49 p.

_____. **Relatório de Sustentabilidade 2014**. 2014. 49 p.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Geneva, Switzerland, 2014. 151 p.

_____. INTEGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Fourth Assessment Report**. Global Warming Potentials Relative to CO₂, 2007.

ISAIA, G. C. A Evolução do Concreto Estrutural. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1.ed. São Paulo: IBRACON, 2011a. v. 1, cap. 1, p. 1-55.

_____. A Água no Concreto. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2011b. v. 1, cap. 9, p. 311-346.

ISO. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 15686-5: Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 5: Life-cycle costing**. Genève, 2008.

JOHN, V. M. Concreto Sustentável. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2011. v. 2, cap. 50, p. 1843-1869.

KENAI, S.; MENADI, B.; KHATIB, J. M. Sustainable construction and low-carbon dioxide concrete: Algeria case. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Engineering Sustainability**, v. 167, n. ES2, p. 45-52, abr. 2014.

KERN, A. P. et al. Waste generated in high-rise buildings construction: a quantification model based on statistical multiple regression. **Waste Management**, v. 39, p. 35-44, 2015.

KIBERT, C. J. Establishing principles and a model for sustainable construction. **Sustainable Construction – CIB TG-16**, Florida, 1994.

KIHARA, Y; CENTURIONE, S. L. O Cimento Portland. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. v. 1, cap. 10, p. 295-322.

KIMURA, A. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado**: cálculo de edifícios com o uso de sistemas computacionais. São Paulo: PINI, 2007. 624 p.

KNOERI, C.; MENGUAL, E. S.; ALTHAUS; H. J. Comparative LCA of recycled and conventional concrete for structural applications. **Buildings and Building Materials**, v. 18, p. 909-918, 2013.

LAMBERTI, L. A. **Análise do ciclo de vida e de custo de pilar com diferentes traços de concreto frente a carbonatação**: do berço ao túmulo. 2015. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

LEE, J. J.; CALLAGHAN, P. O.; ALLEN, D. Critical review of life cycle analysis and assessment techniques and their application to commercial activities. **Resources, Conservation and Recycling**, v.13, p. 37-56, 1995.

MACASKILL, K.; GUTHRIE, P. Risk-based approaches to sustainability in civil engineering. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Engineering Sustainability**, v. 166, n. ES4, p. 181-190, ago. 2013.

MANTOVANI, F. et al. Avaliação ambiental dos processos construtivos de estrutura metálica e pré-moldada de concreto por meio de análise do ciclo de vida. **Revista ALCONPAT**, v. 3, n. 3, p. 204-217, set.-dez. 2013.

MARINGOLO, V. **Clínquer co-processado**: produto de tecnologia integrada para sustentabilidade e competitividade da indústria de cimento. 2001. 174 f. Tese (Doutorado em Mineralogia e Petrologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MCKINSEY & COMPANY. **Charting Our Water Future: Economic frameworks to inform decision-making**. 2030 Water Resources Group. 2009. 198 p.

MEARIG, T.; COFFEE, N.; MORGAN, M. **Life Cycle Cost Analysis Handbook**. 1. ed. Alaska: Department of Education & Early Development, 1999. 30 p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014. 782 p.

MELHADO, S. B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios**: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção. 1994. 294 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MINISTRY OF HOUSING, SPATIAL PLANNING AND THE ENVIRONMENT. **Eco-Indicator 99 Manual for designers** – A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. 2000. 49 p.

MORAIS, V. R.; REGO, L. R. M. Aços para Concreto Armado. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. v. 1, cap. 8, p. 233-263.

NAGALLI, A. Comparativo técnico e econômico entre obras comerciais com características sustentáveis e convencionais. **Téchne**, São Paulo, ed. 179, p. 60-63, fev. 2012.

NAIK, T. R. Sustainability of Concrete Construction. **Practice Periodical on Structural Design and Construction**, v. 13, n. 2, p. 98-103, 2008.

NAKAMURA, J. Economia concreta: Elevar a resistência do concreto pode gerar ganhos de espaço, prazo e dinheiro. **Téchne**. São Paulo, ed. 115, nov. 2006. Disponível em <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/115/artigo286357-1.aspx>>. Acesso em 08 de abril de 2015.

NORRIS, G. A. Integrating Economic Analysis into LCA. **Environmental Quality Management**, v. 10, n. 3, p. 59-64, 2001.

OCHSENDORF, J. et al. **Methods, Impacts, and Opportunities in the Concrete Building Life Cycle**. Cambridge: Concrete Sustainability Hub, Massachusetts Institute of Technology, 2011. 119 p.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de construção**. 4. Ed. Porto Alegre: Globo, 1979. 435 p.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 218 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PRÉ CONSULTANTS. **SimaPro 7 Database Manual: Methods library**. 2008. 52 p.

_____. **Software SimaPro**. 2015. Versão 8.0.2.

ROSKOVIC R.; BJEGOVIC, D. Role of mineral additions in reducing CO₂ emission. **Cement and Concrete Research**, n. 35, p. 974-978, 2005.

S3ENG – TECNOLOGIA APLICADA À ENGENHARIA S/A. **Software AltoQi Eberick**. Florianópolis, 2015. Versão V9, atualização v.9.259, fevereiro de 2015, aplicação plena.

SAADE, M. R. M. et al. Indicadores ambientais de ciclo de vida aplicados a concretos com diferentes tipos de cimentos e resistências características. In: 55º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2013, Gramado. **Anais...** Gramado: Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 2013.

SBRIGHI NETO, C. Agregados Naturais, Britados e Artificiais para Concreto. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2011. v. 1, cap. 7, p. 233-260.

SHERIF, Y. S.; KOLARIK, W. J. Life Cycle Costing: Concept and Practice. **OMEGA – The International Journal of Management Science**, v. 9, n. 3, p. 287-296, 1981.

SILVA, A. O. **Estudo comparativo do ciclo de vida e de custo de pilar com diferentes traços de concreto**. 2014. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

SILVA, M. G. Cimento Portland com Adições Mineraias. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2007. v. 1, cap. 23, p. 761-793.

SILVA, V. G. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica**. 2003. 333 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SILVA, R. R.; VIOLIN, R. Y. T. Gestão da água em canteiros de obras de construção civil. In: VIII ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA, 2013. **Anais...** 2013.

SIMÕES, C. L. et al. Integrating environmental and economic life cycle analysis in product development: a material selection case study. **Life Cycle Management – The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, p.1734-1746, 2013.

SJUNNESSON, J. **Life Cycle Assessment of Concrete**. 2005. 61 f. Master Thesis (Environmental and Energy Systems Studies, Department of Technology and Society) – Lund University, Lund, Sweden, 2005.

SINDUSCON-RS. SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Pesquisas e índices – Salários Médios – abril/2015**. 2015. Disponível em <<http://www.sinduscon-rs.com.br/produtos-e-servicos/pesquisas-e-indices/salarios-medios/>>. Acesso em 23 de maio de 2015.

SNIC. SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Relatório anual 2013**. 2013. 40 p.

SOUZA, D. M. et al. Comparative Life Cycle Assessment of ceramic versus concrete roof tiles in the Brazilian context. **Journal of Cleaner Production**, v. 89, p. 165-173, 2015.

TCPO. **Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos**. 13. ed. São Paulo: PINI, 2008. 630 p.

THORMARK, C. The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building. **Building and Environment**, v. 41, p. 1019-1026, 2006.

UN. UNITED NATIONS. **Resolution adopted by the General Assembly – 60/1**. 2005 World Summit Outcome. General Assembly, 2005. 38 p.

UNEP-DTIE. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – DIVISION OF TECHNOLOGY, INDUSTRY AND ECONOMICS. **Evaluation of environmental impacts in life cycle assessment**. Paris, 2000. 108 p.

UNEP-SBCI. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – SUSTAINABLE BUILDINGS & CLIMATE INITIATIVE. **Buildings & Climate Change: Industry Call to Action**. 2009. 4 p.

VAL, D. V.; STEWART, M. G. Life-cycle cost analysis of reinforced concrete structures in marine environments. **Structural Safety**, v. 25, p. 343-362, 2003.

VALDERRAMA, C. et al. Implementation of best available techniques in cement manufacturing: a life-cycle assessment study. **Journal of Cleaner Production**, v. 25, p. 60-67, 2012.

VASCONCELOS, A. C. Evolução do cálculo de estruturas. **TQS News**, n. 34, p. 42-44, fev. 2012.

WANG, J. Y.; KANG, X. P.; TAM, V. W. Y. An investigation of construction wastes: an empirical study in Shenzhen. **Journal of Engineering, Design and Technology**, v. 6, n. 3, p. 227-236, 2008.

WBCSD. WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Getting the Numbers Right Project**. 2012. Disponível em <<http://www.wbcscement.org/GNR-2012/index.html>>. Acesso em 07 de abril de 2015.

WBCSD; IEA. WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT; INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Cement Technology Roadmap 2009**: Carbon emissions reductions up to 2050. 2009. 36 p.

WCED. WORLD COMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Our Common Future**. Report of the World Commission on Environment and Development. Oxford University Press, Oxford, UK. 1987.

WEISENBERGER, G. Sustainability and the Structural Engineer. **Practice Periodical on Structural Design and Construction**, v. 16, p. 146-150, nov. 2011.

WOODWARD, D. G. Life cycle costing – theory, information acquisition and application. **International Journal of Project Management**, v. 15, n. 6, p. 335-344, 1997.

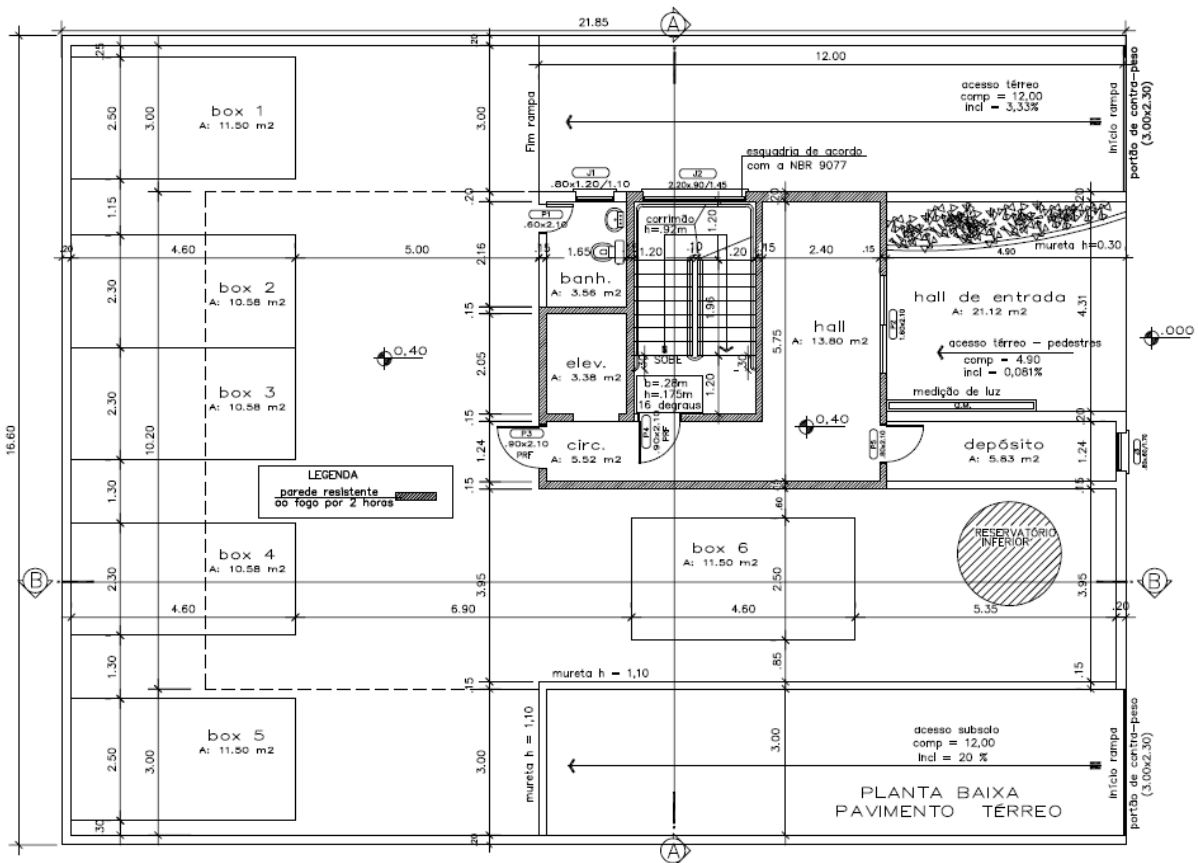
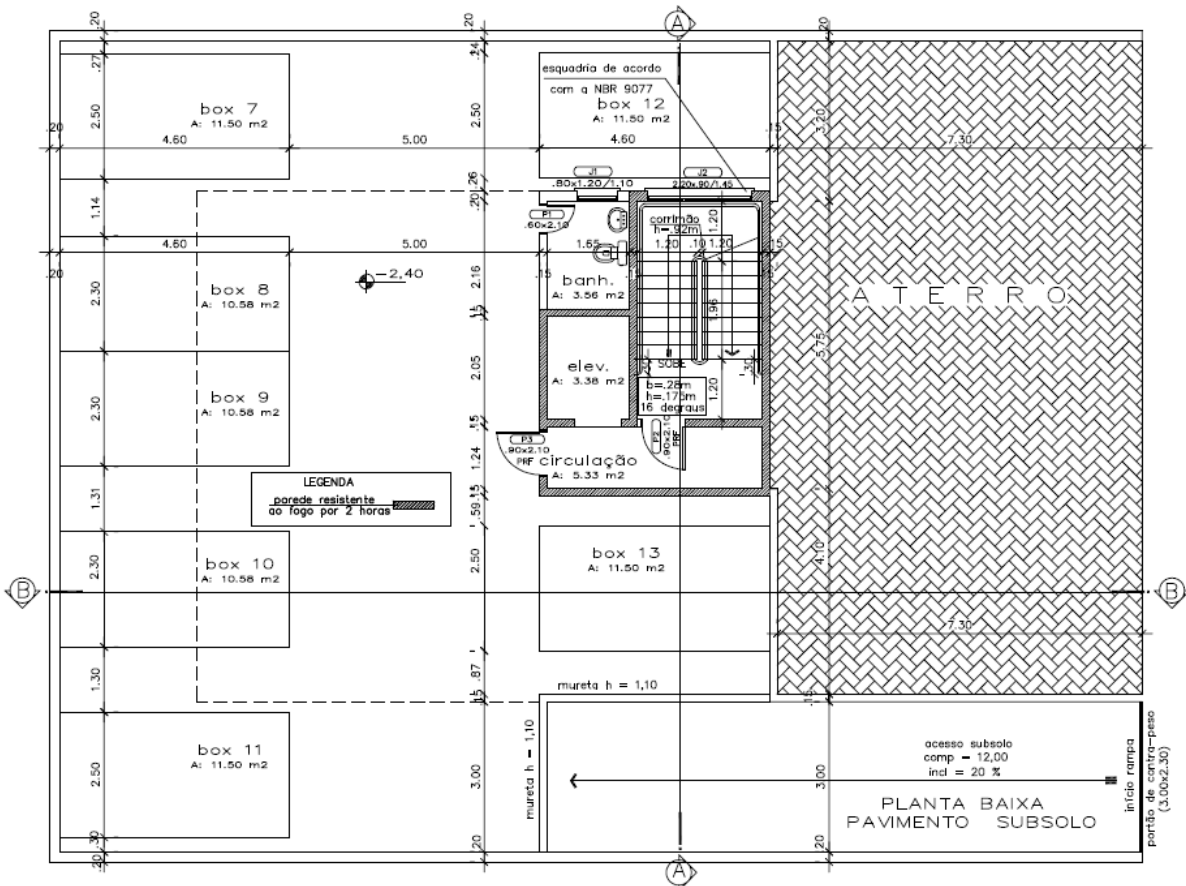
WÜBBENHORST, K. L. Life Cycle Costing for Construction Projects. **Long Range Planning**, v. 19, n. 4, p. 88-97, 1986.

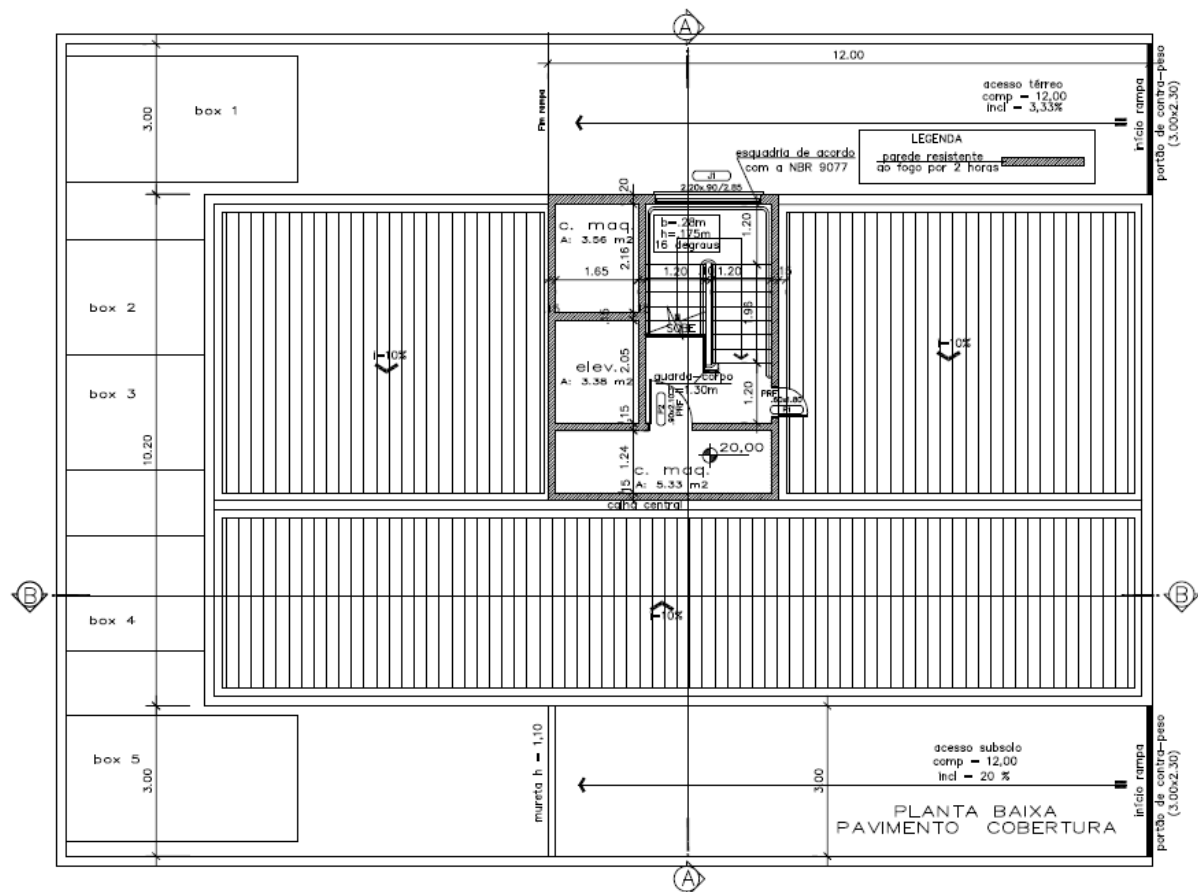
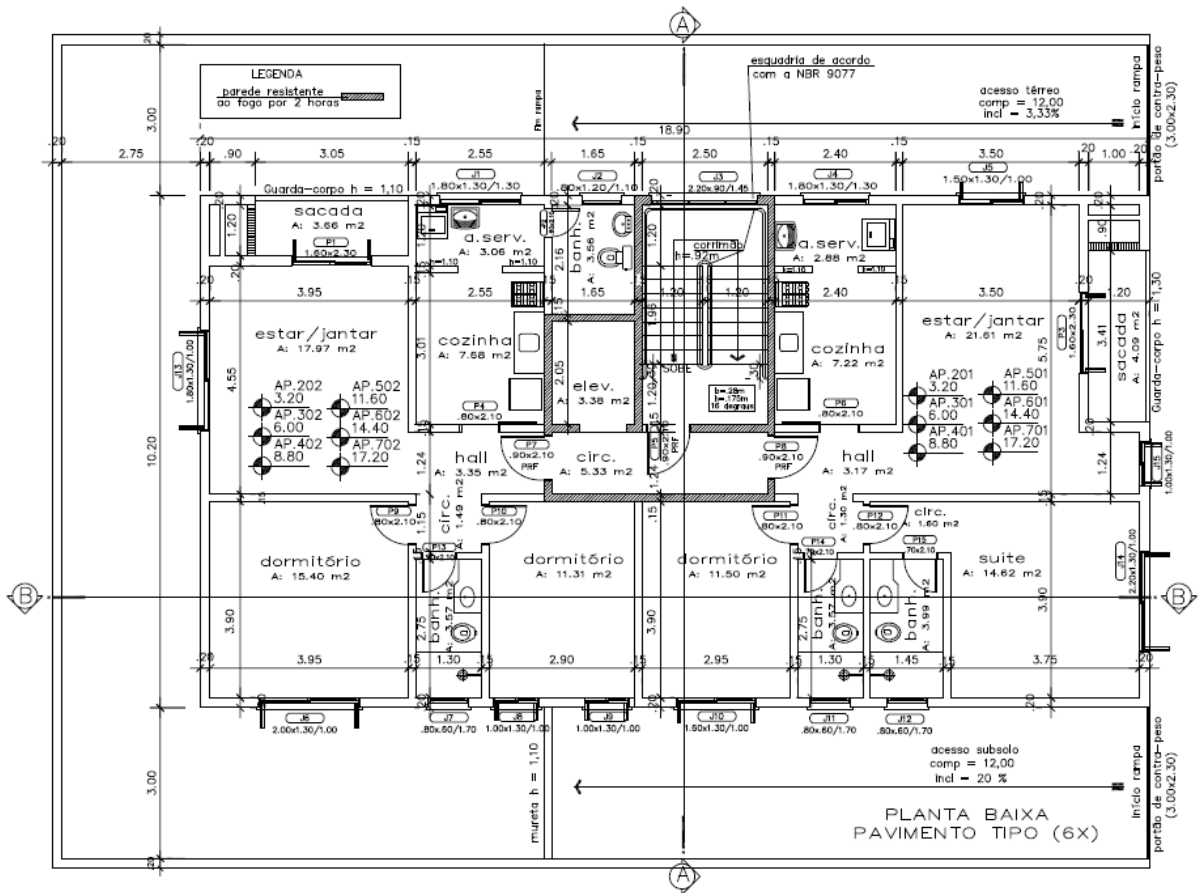
WWAP. UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. **The United Nations World Water Development Report 2014**: Water and energy. Paris: UNESCO, 2014. 230 p.

YE, G. et al. Simulating effects of management measures on the improvement of the environmental performance of construction waste management. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 62, p. 56-63, 2012.

APÊNDICES

Apêndice A – Plantas baixas





Apêndice B – Quantitativos de concreto, aço e formas

Resistência característica – 30 MPa

Pavimento	Elemento	Peso do aço +10 % (kg)	Volume de concreto (m³)	Área de forma (m²)	Consumo de aço (kg/m³)
Cobertura reservatório	Vigas	109.3	0.7	12.8	159.7
	Pilares	310.4	0.9	13.8	343.2
	Lajes	171.6	2.0	25.2	85.0
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0
	Total	591.4	3.6	51.8	163.9
Base reservatório	Vigas	505.0	2.1	26.7	243.9
	Pilares	431.1	1.1	15.5	405.2
	Lajes	364.0	2.8	23.4	129.4
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0
	Total	1300.1	5.9	65.6	218.6
Cobertura	Vigas	987.0	6.6	105.2	148.7
	Pilares	827.0	3.2	53.0	261.1
	Lajes	802.7	13.3	160.9	60.4
	Escadas	93.3	1.3	15.0	71.8
	Total	2710.0	24.4	334.1	111.1
Tipo 6	Vigas	1416.9	10.5	155.3	134.6
	Pilares	890.3	3.3	54.2	273.7
	Lajes	738.4	15.8	158.0	46.7
	Escadas	47.7	1.3	15.0	36.7
	Total	3093.3	30.9	382.4	100.2
Tipo 5	Vigas	1547.6	10.5	155.4	146.9
	Pilares	991.1	3.3	55.3	296.3
	Lajes	740.2	15.8	158.1	46.8
	Escadas	103.0	1.3	15.0	79.3
	Total	3382.0	31.0	383.7	109.2
Tipo 4	Vigas	1651.6	10.6	155.8	156.4
	Pilares	1124.1	3.7	58.6	304.4
	Lajes	742.4	15.8	158.1	47.0
	Escadas	105.2	1.3	15.0	81.0
	Total	3623.3	31.4	387.5	115.5
Tipo 3	Vigas	1775.3	10.6	156.0	167.9
	Pilares	1175.8	3.9	60.3	300.7
	Lajes	736.8	15.8	158.1	46.6
	Escadas	59.3	1.3	15.0	45.6
	Total	3747.2	31.6	389.4	118.6
Tipo 2	Vigas	1859.6	10.6	156.1	175.7
	Pilares	1362.9	4.1	62.8	328.4
	Lajes	739.5	15.8	158.2	46.7
	Escadas	59.3	1.3	15.0	45.6
	Total	4021.2	31.9	392.1	126.2
Tipo 1	Vigas	1756.6	10.6	156.3	165.7
	Pilares	1540.6	4.4	65.1	353.2
	Lajes	725.2	15.8	158.2	45.8
	Escadas	100.3	1.3	15.0	77.2
	Total	4122.6	32.1	394.6	128.5

Pavimento	Elemento	Peso do aço +10 % (kg)	Volume de concreto (m³)	Área de forma (m²)	Consumo de aço (kg/m³)
Térreo	Vigas	2158.2	12.1	187.8	179.0
	Pilares	2099.7	6.1	90.3	346.4
	Lajes	1841.9	24.9	244.3	73.9
	Escadas	122.9	1.3	15.0	92.4
	Total	6222.8	44.4	537.3	140.3
Baldrame	Vigas	1373.5	7.7	122.1	177.4
	Pilares	917.8	2.5	38.1	366.7
	Lajes	1428.3	20.0	199.9	71.5
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0
	Total	3719.6	30.2	360.1	123.0

Fonte: adaptado do relatório de consumo de materiais do *software* Eberick

Aço	Diâmetro (mm)	Peso + 10 % (kg)				
		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Total
CA50	6.3	1737.7	21.2	2608.1	27.9	4395.0
CA50	8.0	938.8		3360.0	226.4	4525.1
CA50	10.0	1914.3	1087.9	1949.7	350.1	5302.0
CA50	12.5	3376.3	4291.1	236.8	4.1	7908.3
CA50	16.0	3632.2	2930.2			6562.3
CA50	20.0	1698.9	2392.0			4090.9
CA60	5.0	1842.4	948.6	876.4	82.4	3749.9

Fonte: adaptado do relatório de consumo de materiais do *software* Eberick

		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	13298.2	10722.3	8154.6	608.6	32783.7
	CA60	1842.4	948.6	876.4	82.4	3749.9
	Total	15140.6	11670.9	9031.0	691.0	36533.5
Volume concreto (m³)	C-30	92.6	36.4	157.9	10.4	297.3
Área de forma (m²)		1389.6	567.0	1602.5	119.8	3678.8
Consumo de aço (kgf/m³)		163.6	320.5	57.2	66.3	122.9

Fonte: adaptado do relatório de consumo de materiais do *software* Eberick

Resistência característica – 50 MPa

Pavimento	Elemento	Peso do aço +10 % (kg)	Volume de concreto (m³)	Área de forma (m²)	Consumo de aço (kg/m³)
Cobertura reservatório	Vigas	105.7	0.6	11.9	170.5
	Pilares	304.4	0.9	13.2	357.7
	Lajes	158.8	2.0	25.2	78.7
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0
	Total	569.0	3.5	50.3	163.0
Base reservatório	Vigas	468.7	2.0	26.0	234.5
	Pilares	422.0	1.0	14.9	417.5
	Lajes	316.5	2.8	23.4	112.5
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0
	Total	1207.2	5.8	64.3	207.3
Cobertura	Vigas	876.0	6.0	97.8	145.1
	Pilares	732.4	3.0	51.4	241.9
	Lajes	767.2	13.3	160.9	57.7
	Escadas	78.1	1.3	15.0	60.1
	Total	2453.7	23.7	325.1	103.7
Tipo 6	Vigas	1295.8	10.2	151.3	127.5
	Pilares	658.8	3.1	52.2	213.4
	Lajes	749.5	15.8	158.1	47.4
	Escadas	75.7	1.3	15.0	58.3
	Total	2779.9	30.4	376.6	91.6
Tipo 5	Vigas	1351.3	10.2	151.5	132.8
	Pilares	654.5	3.2	53.0	207.6
	Lajes	748.1	15.8	158.1	47.3
	Escadas	75.7	1.3	15.0	58.3
	Total	2829.6	30.4	377.6	93.0
Tipo 4	Vigas	1480.5	10.2	151.7	145.3
	Pilares	735.7	3.2	53.9	228.6
	Lajes	748.6	15.8	158.1	47.3
	Escadas	75.7	1.3	15.0	58.3
	Total	3040.5	30.5	378.6	99.6
Tipo 3	Vigas	1582.4	10.2	151.8	155.2
	Pilares	777.1	3.4	56.1	228.8
	Lajes	745.5	15.8	158.2	47.1
	Escadas	73.9	1.3	15.0	56.9
	Total	3178.8	30.7	381.0	103.5
Tipo 2	Vigas	1623.3	10.2	152.0	159.0
	Pilares	828.7	3.6	57.2	232.8
	Lajes	740.3	15.8	158.2	46.8
	Escadas	73.9	1.3	15.0	56.9
	Total	3266.2	30.9	382.3	105.7
Tipo 1	Vigas	1646.0	10.2	152.1	161.1
	Pilares	850.9	3.8	58.6	226.9
	Lajes	728.3	15.8	158.2	46.0
	Escadas	53.4	1.3	15.0	41.1
	Total	3278.7	31.1	383.9	105.5

Pavimento	Elemento	Peso do aço +10 % (kg)	Volume de concreto (m³)	Área de forma (m²)	Consumo de aço (kg/m³)
Térreo	Vigas	1945.4	11.8	185.0	164.5
	Pilares	1177.9	5.2	82.1	226.4
	Lajes	1615.4	24.7	244.1	65.4
	Escadas	51.8	1.3	15.0	39.0
	Total	4790.5	43.1	526.2	111.3
Baldrame	Vigas	1216.5	7.8	122.4	156.7
	Pilares	446.6	2.1	34.3	212.3
	Lajes	1282.9	20.0	199.7	64.3
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0
	Total	2946.1	29.8	356.4	98.8

Fonte: adaptado do relatório de consumo de materiais do *software* Eberick

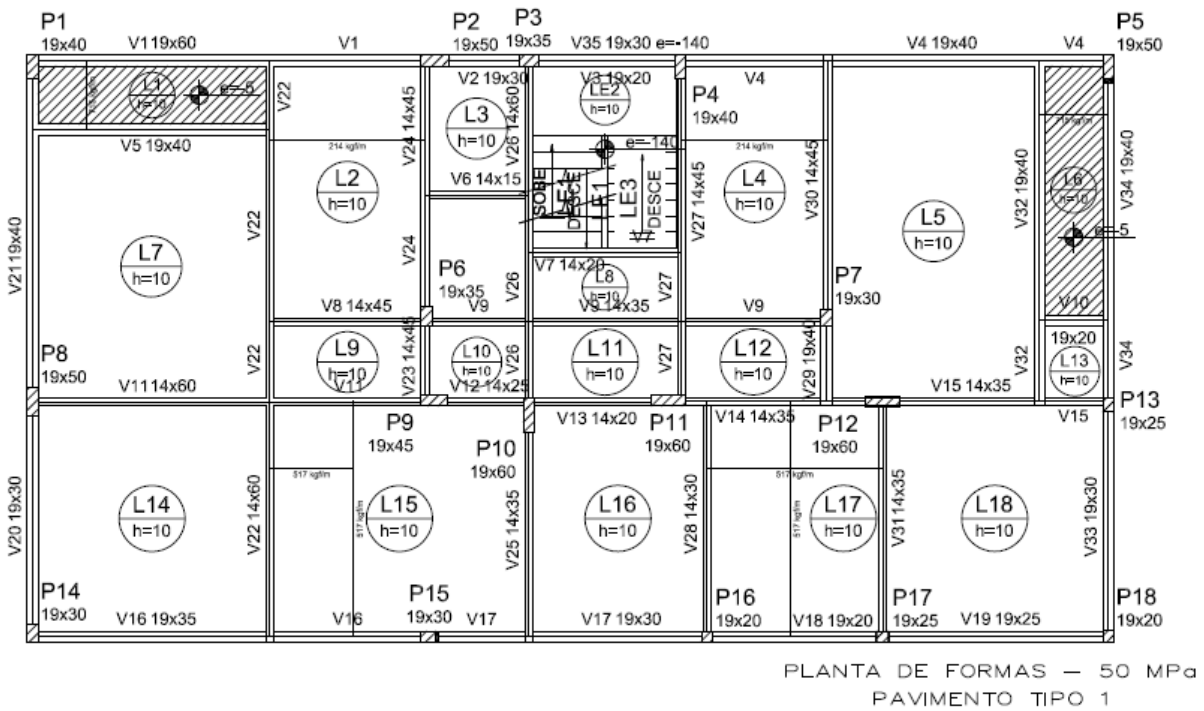
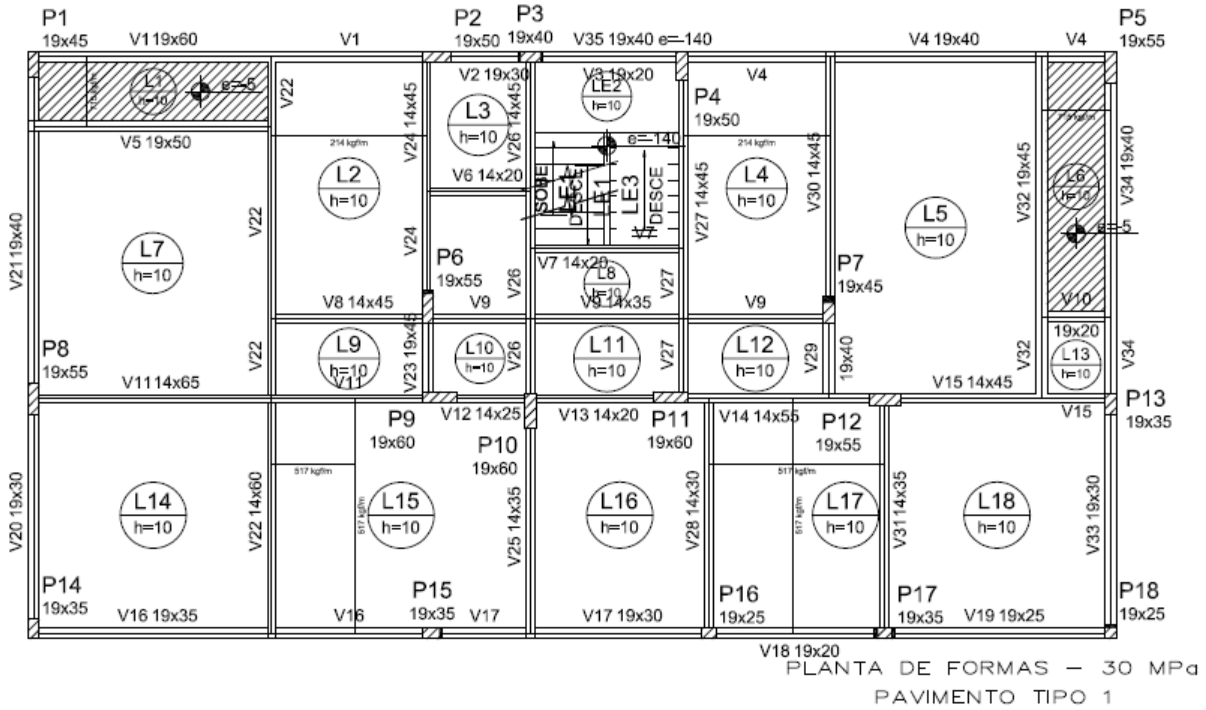
Aço	Diâmetro (mm)	Peso + 10 % (kg)				
		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Total
CA50	6.3	1440.0		2965.6	179.0	4584.6
CA50	8.0	770.3	18.6	3248.5	210.8	4248.2
CA50	10.0	2176.6	1519.8	1794.5	81.3	5572.3
CA50	12.5	2551.0	2646.4	19.4	86.5	5303.2
CA50	16.0	3225.9	1621.5			4847.5
CA50	20.0	1646.6	888.1			2534.8
CA60	5.0	1781.2	894.6	573.2	0.8	3249.8

Fonte: adaptado do relatório de consumo de materiais do *software* Eberick

		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	11810.5	6694.4	8028.0	557.6	27090.4
	CA60	1781.2	894.6	573.2	0.8	3249.8
	Total	13591.6	7589.0	8601.2	558.4	30340.2
Volume concreto (m³)	C-50	89.4	32.4	157.7	10.4	289.9
Área de forma (m²)		1353.3	527.0	1602.2	119.8	3602.3
Consumo de aço (kgf/m³)		152.0	234.5	54.6	53.5	104.7

Fonte: adaptado do relatório de consumo de materiais do *software* Eberick

Apêndice C – Plantas de formas



Apêndice D – Dados de entrada no *software* SimaPro

Edificação CP II-Z 30 MPa	
Materiais/Montagens	
Areia Média	226.172,91 kg
Brita 1	334.294,38 kg
Aço	36.533,50 kg
CP II-Z 32	110.328,48 kg
Plywood, outdoor use, at plant/RER S	13,98 m ³
Tap water, at user/CH S	55.165,80 kg
Processos	
Energia elétrica	44,60 kWh
Óleo diesel	2.278,80 l

Fonte: adaptado dos dados de entrada do *software* SimaPro

Edificação CP II-Z 50 MPa	
Materiais/Montagens	
CP II-Z 32	144.097,55 kg
Areia Média	185.884,89 kg
Brita 1	327.102,87 kg
Tap water, at user/CH S	54.036,20 kg
Polycarboxylates, 40% active substance, at plant/RER S	432,24 kg
Aço	30.340,20 kg
Plywood, outdoor use, at plant/RER S	13,65 m ³
Processos	
Energia elétrica	43,49 kWh
Óleo diesel	2.222,08 l

Fonte: adaptado dos dados de entrada do *software* SimaPro

Edificação CP IV 30 MPa	
Materiais/Montagens	
CP IV 32	123.376,97 kg
Areia Média	209.740,54 kg
Brita 1	330.651,41 kg
Aço	36.533,50 kg
Plywood, outdoor use, at plant/RER S	13,98 m ³
Tap water, at user/CH S	54.532,10 kg
Processos	
Energia elétrica	44,60 kWh
Óleo diesel	2.278,80 l

Fonte: adaptado dos dados de entrada do *software* SimaPro

Edificação CP IV 50 MPa	
Materiais/Montagens	
CP IV 32	162.787,40 kg
Areia Média	162.787,40 kg
Brita 1	322.317,78 kg
Tap water, at user/CH S	53.232,60 kg
Polycarboxylates, 40% active substance, at plant/RER S	651,41 kg
Aço	30.340,20 kg
Plywood, outdoor use, at plant/RER S	13,65 m ³
Processos	
Energia elétrica	43,49 kWh
Óleo diesel	2.222,08 l

Fonte: adaptado dos dados de entrada do *software* SimaPro

Vigas CP II-Z 30 MPa	
Materiais/Montagens	
Areia Média	70.446,05 kg
Brita 1	104.122,63 kg
Aço	15.140,60 kg
CP II-Z 32	34.364,00 kg
Plywood, outdoor use, at plant/RER S	5,16 m ³
Tap water, at user/CH S	17.182,49 kg
Processos	
Energia elétrica	13,89 kWh
Óleo diesel	709,78 l

Fonte: adaptado dos dados de entrada do *software* SimaPro

Vigas CP II-Z 50 MPa	
Materiais/Montagens	
CP II-Z 32	44.437,12 kg
Areia Média	57.323,59 kg
Brita 1	100.872,70 kg
Tap water, at user/CH S	16.663,80 kg
Polycarboxylates, 40% active substance, at plant/RER S	133,30 kg
Aço	13.591,60 kg
Plywood, outdoor use, at plant/RER S	5,06 m ³
Processos	
Energia elétrica	13,41 kWh
Óleo diesel	685,25 l

Fonte: adaptado dos dados de entrada do *software* SimaPro

Vigas CP IV 30 MPa	
Materiais/Montagens	
CP IV 32	38.428,21 kg
Areia Média	65.327,86 kg
Brita 1	102.987,96 kg
Aço	15.140,60 kg
Plywood, outdoor use, at plant/RER S	5,16 m ³
Tap water, at user/CH S	16.985,11 kg
Processos	
Energia elétrica	13,89 kWh
Óleo diesel	709,78 l

Fonte: adaptado dos dados de entrada do *software* SimaPro

Vigas CP IV 50 MPa	
Materiais/Montagens	
CP IV 32	50.200,74 kg
Areia Média	50.200,74 kg
Brita 1	99.397,07 kg
Tap water, at user/CH S	16.415,99 kg
Polycarboxylates, 40% active substance, at plant/RER S	200,88 kg
Aço	13.591,60 kg
Plywood, outdoor use, at plant/RER S	5,06 m ³
Processos	
Energia elétrica	13,41 kWh
Óleo diesel	685,25 l

Fonte: adaptado dos dados de entrada do *software* SimaPro

Pilares CP II-Z 30 MPa	
Materiais/Montagens	
Areia Média	27.691,54 kg
Brita 1	40.929,42 kg
Aço	11.670,90 kg
CP II-Z 32	13.508,09 kg
Plywood, outdoor use, at plant/RER S	2,33 m ³
Tap water, at user/CH S	6.754,24 kg
Processos	
Energia elétrica	5,46 kWh
Óleo diesel	279,01 l

Fonte: adaptado dos dados de entrada do *software* SimaPro

Pilares CP II-Z 50 MPa	
Materiais/Montagens	
CP II-Z 32	16.104,73 kg
Areia Média	20.774,99 kg
Brita 1	36.557,89 kg
Tap water, at user/CH S	6.039,23 kg
Polycarboxylates, 40% active substance, at plant/RER S	48,31 kg
Aço	7.589,00 kg
Plywood, outdoor use, at plant/RER S	2,11 m ³
Processos	
Energia elétrica	4,86 kWh
Óleo diesel	248,35 l

Fonte: adaptado dos dados de entrada do *software* SimaPro

Pilares CP IV 30 MPa	
Materiais/Montagens	
CP IV 32	15.105,69 kg
Areia Média	25.679,64 kg
Brita 1	40.483,39 kg
Aço	11.670,90 kg
Plywood, outdoor use, at plant/RER S	2,33 m ³
Tap water, at user/CH S	6.676,65 kg
Processos	
Energia elétrica	5,46 kWh
Óleo diesel	279,01 l

Fonte: adaptado dos dados de entrada do *software* SimaPro

Pilares CP IV 50 MPa	
Materiais/Montagens	
CP IV 32	18.193,56 kg
Areia Média	18.193,56 kg
Brita 1	36.023,10 kg
Tap water, at user/CH S	5.949,42 kg
Polycarboxylates, 40% active substance, at plant/RER S	72,80 kg
Aço	7.589,00 kg
Plywood, outdoor use, at plant/RER S	2,11 m ³
Processos	
Energia elétrica	4,86 kWh
Óleo diesel	248,35 l

Fonte: adaptado dos dados de entrada do *software* SimaPro

Lajes CP II-Z 30 MPa

Materiais/Montagens	
Areia Média	120.123,45 kg
Brita 1	177.548,21 kg
Aço	9.031,00 kg
CP II-Z 32	58.596,93 kg
Plywood, outdoor use, at plant/RER S	6,04 m ³
Tap water, at user/CH S	29.299,29 kg
Processos	
Energia elétrica	23,69 kWh
Óleo diesel	1.210,30 l

Fonte: adaptado dos dados de entrada do *software* SimaPro

Lajes CP II-Z 50 MPa

Materiais/Montagens	
CP II-Z 32	78.386,28 kg
Areia Média	101.117,79 kg
Brita 1	177.937,64 kg
Tap water, at user/CH S	29.394,65 kg
Polycarboxylates, 40% active substance, at plant/RER S	235,13 kg
Aço	8.601,20 kg
Plywood, outdoor use, at plant/RER S	6,03 m ³
Processos	
Energia elétrica	23,66 kWh
Óleo diesel	1.208,77 l

Fonte: adaptado dos dados de entrada do *software* SimaPro

Lajes CP IV 30 MPa

Materiais/Montagens	
CP IV 32	65.527,16 kg
Areia Média	111.396,00 kg
Brita 1	175.613,38 kg
Aço	9.031,00 kg
Plywood, outdoor use, at plant/RER S	6,04 m ³
Tap water, at user/CH S	28.962,73 kg
Processos	
Energia elétrica	23,69 kWh
Óleo diesel	1.210,30 l

Fonte: adaptado dos dados de entrada do *software* SimaPro

Lajes CP IV 50 MPa

Materiais/Montagens	
CP IV 32	88.553,20 kg
Areia Média	88.553,20 kg
Brita 1	175.334,64 kg
Tap water, at user/CH S	28.957,50 kg
Polycarboxylates, 40% active substance, at plant/RER S	354,35 kg
Aço	8.601,20 kg
Plywood, outdoor use, at plant/RER S	6,03 m ³
Processos	
Energia elétrica	23,66 kWh
Óleo diesel	1.208,77 l

Fonte: adaptado dos dados de entrada do *software* SimaPro

Escadas CP II-Z 30 MPa

Materiais/Montagens	
Areia Média	7.911,87 kg
Brita 1	11.694,12 kg
Aço	691,00 kg
CP II-Z 32	3.859,46 kg
Plywood, outdoor use, at plant/RER S	0,45 m ³
Tap water, at user/CH S	1.929,78 kg
Processos	
Energia elétrica	1,56 kWh
Óleo diesel	79,72 l

Fonte: adaptado dos dados de entrada do *software* SimaPro

Escadas CP II-Z 50 MPa

Materiais/Montagens	
CP II-Z 32	5.169,42 kg
Areia Média	6.668,52 kg
Brita 1	11.734,63 kg
Tap water, at user/CH S	1.938,52 kg
Polycarboxylates, 40% active substance, at plant/RER S	15,51 kg
Aço	558,40 kg
Plywood, outdoor use, at plant/RER S	0,45 m ³
Processos	
Energia elétrica	1,56 kWh
Óleo diesel	79,72 l

Fonte: adaptado dos dados de entrada do *software* SimaPro

Escadas CP IV 30 MPa	
Materiais/Montagens	
CP IV 32	4.315,91 kg
Areia Média	7.337,04 kg
Brita 1	11.566,68 kg
Aço	691,00 kg
Plywood, outdoor use, at plant/RER S	0,45 m ³
Tap water, at user/CH S	1.907,61 kg
Processos	
Energia elétrica	1,56 kWh
Óleo diesel	79,72 l

Fonte: adaptado dos dados de entrada do *software* SimaPro

Escadas CP IV 50 MPa	
Materiais/Montagens	
CP IV 32	5.839,91 kg
Areia Média	5.839,91 kg
Brita 1	11.562,97 kg
Tap water, at user/CH S	1.909,69 kg
Polycarboxylates, 40% active substance, at plant/RER S	23,37 kg
Aço	558,40 kg
Plywood, outdoor use, at plant/RER S	0,45 m ³
Processos	
Energia elétrica	1,56 kWh
Óleo diesel	79,72 l

Fonte: adaptado dos dados de entrada do *software* SimaPro

Apêndice E – Inventários

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
1	Energia, poder calorífico superior, em biomassa	Matéria prima	MJ	320113,8671	310995,9924	320113,1981	311035,5795
2	Ferro, 46% em minério, 25% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	154050,991	127954,1893	154050,9439	127955,8764
3	Água, uso em turbina, origem natural não especificada	Matéria prima	m3	139329,7321	121737,8208	139321,7236	122327,2122
4	Ocupação, floresta, intensivo, normal	Matéria prima	m2a	132594,983	128921,6112	132594,8785	128926,1547
5	Carvão, duro, não especificado, no solo	Matéria prima	kg	82231,33235	69608,36316	82561,06382	70093,69595
6	Carvão, 29.3 MJ por kg, no solo	Matéria prima	kg	63323,3242	52588,50975	63323,3242	52588,50975
7	Calcita, no solo	Matéria prima	kg	56685,34331	47127,69791	56685,23438	47132,1861
8	Dióxido de carbono, no ar	Matéria prima	kg	29289,24383	28443,70367	29289,18061	28447,02918
9	Pedra, no solo	Matéria prima	kg	20394,84636	18597,93834	20394,04292	18623,01888
10	Energia, potencial (em energia hidrelétrica reservatório), convertida	Matéria prima	MJ	16856,77494	14777,80794	16855,74045	14852,28594
11	Carvão, 26.4 MJ por kg, no solo	Matéria prima	kg	10637,7679	8834,412409	10637,7679	8834,412409
12	Óleo, bruto, no solo	Matéria prima	kg	6191,96785	5414,397876	6191,481988	5489,882103
13	Carvão, betuminoso, 24.8 MJ por kg, no solo	Matéria prima	kg	5621,236056	7341,770173	6378,589349	8416,10858
14	Carvão, marrom, no solo	Matéria prima	kg	4963,990836	4345,177587	4963,839705	4368,538514
15	Gás, natural, no solo	Matéria prima	m3	4416,667388	4099,057083	4415,577437	4141,104684
16	Gesso, no solo	Matéria prima	kg	2460,341662	3213,389203	2430,542867	3206,925631
17	Minério de ferro, no solo	Matéria prima	kg	2388,549808	3119,631263	2150,04604	2836,837416
18	Energia, cinética (no vento), convertida	Matéria prima	MJ	2039,448009	1784,944116	2039,386977	1794,46877
19	Ligas metálicas	Matéria prima	kg	1461,34	1213,608	1461,34	1213,608
20	Minério de manganês, no solo	Matéria prima	kg	1461,34	1213,608	1461,34	1213,608
21	Ocupação, área de tráfego, aterro rodoviário	Matéria prima	m2a	1297,183012	1261,071053	1297,181832	1261,122831
22	Argila, bentonítica, no solo	Matéria prima	kg	1173,220614	974,6729638	1173,219802	974,7073723
23	Água, origem natural não especificada/m3	Matéria prima	m3	894,1682963	747,7273942	894,1554765	748,1802408
24	Transformação, de floresta, extensivo	Matéria prima	m2	891,1786995	866,4361589	891,177843	866,473546
25	Transformação, para floresta, intensivo, normal	Matéria prima	m2	882,4099997	857,9261265	882,4091599	857,9627224
26	Argila, não especificado, no solo	Matéria prima	kg	814,7670638	720,9017018	814,6081138	727,1319399

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
27	Gás, mina, fora, processo, mineração de carvão/m3	Matéria prima	m3	771,0182451	641,7736226	771,0168899	641,918758
28	Água, fresca, origem natural não especificada/m3	Matéria prima	m3	525,2689021	476,7620069	525,2520997	485,4496291
29	Ocupação, local de despejo	Matéria prima	m2a	435,9994031	363,3945656	435,9970038	363,5437623
30	Cloreto de sódio, no solo	Matéria prima	kg	283,2223904	278,9510252	283,2185089	300,577363
31	Volume ocupado, reservatório	Matéria prima	m3y	279,9560657	246,4809717	279,9386555	247,6170523
32	Ocupação, área industrial	Matéria prima	m2a	263,1815208	222,6283209	263,1711251	222,7359904
33	Água, rio	Matéria prima	m3	193,9947582	170,3022208	193,6539047	170,4120603
34	Ocupação, local de mineração	Matéria prima	m2a	190,8684418	159,6748901	190,8671601	159,7625312
35	Água, doce, no solo	Matéria prima	m3	143,7790708	124,0165738	143,5134107	123,8392512
36	Ocupação, área industrial, construído	Matéria prima	m2a	100,4069292	85,54325546	100,3998012	85,84792236
37	Ocupação, corpos d'água, artificial	Matéria prima	m2a	62,96904516	53,59710526	62,96792244	53,71723445
38	Ocupação, área de tráfego, rede ferroviária	Matéria prima	m2a	57,74363067	48,86112017	57,74220053	48,93481884
39	Transformação, para arar, não irrigado	Matéria prima	m2	54,53122191	52,15588954	54,53105201	52,16365852
40	Transformação, arável, não irrigado	Matéria prima	m2	54,48590607	52,11252852	54,48573632	52,1202909
41	Ocupação, cursos d'água, artificial	Matéria prima	m2a	53,66088115	45,24847174	53,65988675	45,31149744
42	Ocupação, área de tráfego, rede rodoviária	Matéria prima	m2a	52,60061793	44,96240024	52,59890775	45,02797638
43	Ocupação, área de tráfego, aterro ferroviário	Matéria prima	m2a	52,22056394	44,18765013	52,21927064	44,25430024
44	Energia, solar, convertida	Matéria prima	MJ	30,88167168	27,05429363	30,88052363	27,19123687
45	Ocupação, área industrial, vegetação	Matéria prima	m2a	30,83608433	26,64371646	30,83384899	26,73920817
46	Ocupação, arável, não irrigado	Matéria prima	m2a	29,49293267	28,20669016	29,49284057	28,21090126
47	Barita, 15% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	27,56181549	24,17412239	27,55828426	24,34792057
48	Alumínio, 24% em bauxita, 11% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	26,32327886	23,07256055	26,31887707	23,29800081
49	Madeira, dura, em pé	Matéria prima	m3	24,541075	23,86517156	24,54105629	23,86573044
50	Transformação, desconhecido	Matéria prima	m2	24,07464978	20,28521263	24,0742353	20,29971238
51	Níquel, 1.98% em silicatos, 1.04% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	22,77931906	20,78527606	22,77240677	21,0816803
52	Ocupação, floresta, intensivo	Matéria prima	m2a	18,209511	15,52231637	18,20838203	15,58117207

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
53	Água, processo, origem natural não especificada/m3	Matéria prima	m3	18,0938328	14,8707912	16,7792432	13,022992
54	Água, salgada, oceano	Matéria prima	m3	17,17186643	15,18576082	17,17045156	15,27265918
55	Transformação, para local de mineração	Matéria prima	m2	16,81719835	14,28916842	16,81637398	14,31998435
56	Água, lago	Matéria prima	m3	15,53625815	14,47418543	15,42177444	14,35596862
57	Magnesita, 60% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	9,233241661	7,93772512	9,232463328	7,962629722
58	Transformação, para área de tráfego, aterro rodoviário	Matéria prima	m2	8,644216502	8,403762483	8,644207725	8,404146748
59	Cromo, 25.5% em cromita, 11.6% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	7,991858835	7,413165211	7,988958022	7,544483759
60	Transformação, de floresta	Matéria prima	m2	7,161520449	6,236567085	7,160656449	6,266057211
61	Basalto, no solo	Matéria prima	kg	7,047938084	6,225974857	7,046876366	6,271301073
62	Dolomita, no solo	Matéria prima	kg	6,62586519	5,590429879	6,625631961	5,600192283
63	Transformação, para área industrial	Matéria prima	m2	6,117195134	5,209850754	6,117060426	5,210906712
64	Cobre, 2.19% em sulfeto, Cu 1.83% e Mo 8.2E-3% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	5,77386375	5,290981085	5,771922807	5,375548406
65	Cobre, 1.18% em sulfeto, Cu 0.39% e Mo 8.2E-3% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	4,370656556	4,00286601	4,36919786	4,066436619
66	Água, salgada, fundo	Matéria prima	m3	3,925441289	3,393577274	3,925060303	3,410880215
67	Ocupação, canteiro de obras	Matéria prima	m2a	3,584172458	3,145036248	3,583609286	3,165125783
68	Transformação, para local de despejo	Matéria prima	m2	3,570011809	2,973889633	3,569996836	2,974937477
69	Manganês, 35.7% em depósito sedimentar, 14.2% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	2,911155495	2,541035536	2,91085137	2,554249037
70	Zinco, 9.0% em sulfeto, Zn 5.3%, Pb, Ag, Cd, In, no solo	Matéria prima	kg	2,813957399	2,697950959	2,812635854	2,752552694
71	Transformação, de mares e oceanos	Matéria prima	m2	2,456503642	2,175755344	2,456067665	2,185243597
72	Ocupação, local de despejo, bentos	Matéria prima	m2a	2,453657572	2,173197139	2,453222361	2,182655057
73	Transformação, para local de despejo, bentos	Matéria prima	m2	2,453657572	2,173197139	2,453222361	2,182655057
74	Transformação, para área industrial, construído	Matéria prima	m2	2,028204965	1,728127526	2,028059784	1,734366915
75	Transformação, de local de mineração	Matéria prima	m2	1,645888644	1,385460743	1,645855725	1,38748012
76	TiO2, 54% em ilmenite, 2.6% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	1,559656337	1,367693365	1,559453717	1,37842002

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
77	Fósforo, 18% em apatita, 4% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	1,499025114	1,257511523	1,498977707	1,259812577
78	Ocupação, área de arbusto, sclerophyllous	Matéria prima	m2a	1,393288988	1,225729021	1,393150096	1,231269868
79	Cobre, 1.42% em sulfeto, Cu 0.81% e Mo 8.2E-3% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	1,159395741	1,061832197	1,159008787	1,078695123
80	Caulinita, 24% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	1,149158782	0,95803144	1,149150654	0,958428883
81	Fluorita, 92%, no solo	Matéria prima	kg	1,094393566	1,009599291	1,094047087	1,027065331
82	Transformação, para arar	Matéria prima	m2	0,849639985	0,733187025	0,849574982	0,734703187
83	Energia, poder calorífico superior, em biomassa, floresta primária	Matéria prima	MJ	0,806746432	0,697667145	0,806669578	0,699737715
84	Cobre, 0.99% em sulfeto, Cu 0.36% e Mo 8.2E-3% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,792385925	0,725998452	0,79212034	0,737598679
85	Níquel, 1.13% em sulfeto, Ni 0.76% e Cu 0.76% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,766066195	0,745553485	0,765438336	0,74485906
86	Fósforo, 18% em apatita, 12% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,692182541	0,584991449	0,692124394	0,585976406
87	Transformação, para floresta	Matéria prima	m2	0,65824908	0,564833387	0,658214584	0,566143699
88	Transformação, para corpos d'água, artificial	Matéria prima	m2	0,654202506	0,561333003	0,654190271	0,56227816
89	Transformação, para desconhecido	Matéria prima	m2	0,646000238	0,541693757	0,645982737	0,542492821
90	Transformação, para área industrial, vegetação	Matéria prima	m2	0,626150169	0,541353966	0,626104316	0,543328368
91	Transformação, de prados e pastagens	Matéria prima	m2	0,594823203	0,522714217	0,594768259	0,524981911
92	Transformação, para área de tráfego, rede rodoviária	Matéria prima	m2	0,548855776	0,468660306	0,548834087	0,469549026
93	Transformação, para cursos d'água, artificial	Matéria prima	m2	0,506961823	0,429068854	0,506950356	0,42982285
94	Madeira, macia, em pé	Matéria prima	m3	0,383304738	0,339177314	0,383258098	0,341969284
95	Flúor, 4.5% em apatita, 1% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,374745934	0,314369194	0,374734083	0,314944425
96	Transformação, de área de arbusto, sclerophyllous	Matéria prima	m2	0,361974581	0,317933506	0,361941948	0,319393006
97	Transformação, para heterogêneo, agricultural	Matéria prima	m2	0,333026508	0,28999488	0,332983775	0,291275091
98	Chumbo, 5.0% em sulfeto, Pb 3.0%, Zn, Ag, Cd, In, no solo	Matéria prima	kg	0,286360252	0,257686281	0,286341253	0,258772305
99	Transformação, para área de arbusto, sclerophyllous	Matéria prima	m2	0,278541314	0,245044923	0,278513546	0,246152428

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
100	Ocupação, cultura permanente, fruta, intensivo	Matéria prima	m2a	0,24128455	0,209897747	0,241258595	0,210552633
101	Sulfato de sódio, várias formas, no solo	Matéria prima	kg	0,227295039	0,213674185	0,227200822	0,21827685
102	Urânio, no solo	Matéria prima	kg	0,213762097	0,187917183	0,213752791	0,189026732
103	Ocupação, floresta, intensivo, de ciclo curto	Matéria prima	m2a	0,202367437	0,175005882	0,202348158	0,175525274
104	Transformação, de local de despejo, aterro de material inerte	Matéria prima	m2	0,201328422	0,178023684	0,201312557	0,178698953
105	Transformação, para local de despejo, aterro de material inerte	Matéria prima	m2	0,201328422	0,178023684	0,201312557	0,178698953
106	Silvita, 25 % em silvinita, no solo	Matéria prima	kg	0,180899466	0,171604035	0,180874559	0,172631194
107	Flúor, 4.5% em apatita, 3% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,172280285	0,145484151	0,172275026	0,145739022
108	Turfa, no solo	Matéria prima	kg	0,167201021	0,187562472	0,167162652	0,207994846
109	Transformação, para área de tráfego, rede ferroviária	Matéria prima	m2	0,13356123	0,113015981	0,133557922	0,11318645
110	Talco, no solo	Matéria prima	kg	0,121642933	0,101474033	0,121636117	0,10152431
111	Transformação, para área de tráfego, aterro ferroviário	Matéria prima	m2	0,121514433	0,102822228	0,121511424	0,102977315
112	Transformação, para floresta, intensivo	Matéria prima	m2	0,121302095	0,103401243	0,121294576	0,103793243
113	Molibdênio, 0.010% em sulfeto, Mo 8.2E-3% e Cu 1.83% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,107300384	0,098326578	0,107264315	0,099898142
114	Transformação, para local de despejo, aterro de material residual	Matéria prima	m2	0,07315033	0,063309423	0,073143175	0,063728839
115	Transformação, de local de despejo, aterro de material residual	Matéria prima	m2	0,07314913	0,063308405	0,073141975	0,06372782
116	Molibdênio, 0.11% em sulfeto, Mo 4.1E-2% e Cu 0.36% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,070196552	0,061889665	0,070189867	0,062183762
117	Colemanite, no solo	Matéria prima	kg	0,066402373	0,061490474	0,066377995	0,062473322
118	Molibdênio, 0.025% em sulfeto, Mo 8.2E-3% e Cu 0.39% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,055801619	0,051105889	0,055782994	0,051917526
119	Areia, não especificado, no solo	Matéria prima	kg	0,051621214	0,053172652	0,051617398	0,057490563
120	Transformação, de área industrial	Matéria prima	m2	0,044836088	0,040144314	0,044829865	0,040293617
121	Transformação, de prados e pastagens, intensivo	Matéria prima	m2	0,044465726	0,042528799	0,044465588	0,042535116

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
122	Estanho, 79% em cassiterita, 0.1% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,040223242	0,036462061	0,040210689	0,036999199
123	Rocha metamórficas, contendo grafite, no solo	Matéria prima	kg	0,038185345	0,03327467	0,038179691	0,033523806
124	Molibdênio, 0.022% em sulfeto, Mo 8.2E-3% e Cu 0.36% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,034845055	0,030730894	0,034841688	0,030878947
125	Ocupação, urbano, descontínuo	Matéria prima	m2a	0,029545417	0,027970866	0,02954527	0,027977964
126	Enxofre, no solo	Matéria prima	kg	0,028702496	0,029775445	0,028698713	0,032443273
127	Transformação, para prados e pastagem	Matéria prima	m2	0,024805493	0,022379856	0,024800305	0,022425208
128	Ocupação, área industrial, bentos	Matéria prima	m2a	0,021379199	0,018974132	0,021375294	0,019050803
129	Transformação, arável	Matéria prima	m2	0,019747476	0,017340093	0,019745405	0,017471316
130	Vermiculita, no solo	Matéria prima	kg	0,016045724	0,015010472	0,015922205	0,014879432
131	Molibdênio, 0.014% em sulfeto, Mo 8.2E-3% e Cu 0.81% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,015228552	0,013947085	0,015223469	0,014168589
132	Carbono, em matéria orgânica, no solo	Matéria prima	kg	0,011636469	0,010063123	0,011635361	0,010092989
133	Óxido de urânio, 332 GJ por kg, em minério	Matéria prima	kg	0,010958392	0,009100683	0,010958392	0,009100683
134	Volume ocupado, depósito subterrâneo	Matéria prima	m3	0,008719173	0,007268587	0,008719112	0,007272226
135	Transformação, de floresta, intensivo, corte raso	Matéria prima	m2	0,007227463	0,006250254	0,007226775	0,006268803
136	Transformação, de floresta tropical	Matéria prima	m2	0,007227463	0,006250254	0,007226775	0,006268803
137	Transformação, para floresta, intensivo, corte raso	Matéria prima	m2	0,007227463	0,006250254	0,007226775	0,006268803
138	Transformação, para floresta, intensivo, de ciclo curto	Matéria prima	m2	0,007227463	0,006250254	0,007226775	0,006268803
139	Transformação, para arar, não irrigado, pousio	Matéria prima	m2	0,006435401	0,005665712	0,00643424	0,005718117
140	Crisotila, no solo	Matéria prima	kg	0,004373524	0,004875372	0,004373468	0,005499385
141	Cádmio, 0.30% em sulfeto, Cd 0.18%, Pb, Zn, Ag, in, no solo	Matéria prima	kg	0,004314837	0,003843861	0,00431457	0,00385614
142	Magnésio, 0.13% em água	Matéria prima	kg	0,004252287	0,004120421	0,004252228	0,004123436
143	Ulexita, no solo	Matéria prima	kg	0,003884207	0,003425614	0,00388395	0,003449201
144	Transformação, para cultura permanente, fruta, intensivo	Matéria prima	m2	0,003396605	0,002954768	0,00339624	0,002963987
145	Transformação, arável, não irrigável, pousio	Matéria prima	m2	0,003193328	0,002798987	0,003192794	0,002826332
146	Kieserite, 25% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,003062353	0,002571846	0,003062312	0,002573779

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
147	Transformação, para área industrial, bentos	Matéria prima	m2	0,002830756	0,002545703	0,002829993	0,002575937
148	Transformação, de local de despejo, aterro sanitário	Matéria prima	m2	0,002758943	0,002443016	0,00275423	0,002447186
149	Transformação, para local de despejo, aterro sanitário	Matéria prima	m2	0,002758943	0,002443016	0,00275423	0,002447186
150	Xisto, no solo	Matéria prima	kg	0,00181983	0,003383576	0,001819785	0,004326123
151	Transformação, de local de despejo, forma de escória	Matéria prima	m2	0,001302125	0,001267774	0,001302092	0,001276447
152	Transformação, para local de despejo, forma de escória	Matéria prima	m2	0,001302125	0,001267774	0,001302092	0,001276447
153	Transformação, de área industrial, vegetação	Matéria prima	m2	0,000911508	0,000764591	0,000911479	0,000765981
154	Anidrita, no solo	Matéria prima	kg	0,000642846	0,001195215	0,00064283	0,001528157
155	Transformação, para urbano, descontínuo	Matéria prima	m2	0,000588543	0,000557179	0,000588541	0,00055732
156	Transformação, de área industrial, construído	Matéria prima	m2	0,000534333	0,000448209	0,000534316	0,000449024
157	Zircônio, 50% em zircão, 0.39% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,000457618	0,000470912	0,000457225	0,000487745
158	Volume ocupado, repositório definitivo de resíduos radioativos de fraca atividade	Matéria prima	m3	0,000440014	0,000386127	0,000439995	0,000388055
159	Prata, 0.007% em sulfeto, Ag 0.004%, Pb, Zn, Cd, In, no solo	Matéria prima	kg	0,000430233	0,000441389	0,000429871	0,000456931
160	Cinabre, no solo	Matéria prima	kg	0,000404139	0,000450156	0,000404133	0,0005076
161	Bórax, no solo	Matéria prima	kg	0,000376222	0,000329259	0,00037618	0,00033114
162	Tântalo, 81.9% em tantalita, 1.6E-4% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,000338185	0,000347173	0,000337899	0,000359436
163	Bromina, 0.0023% em água	Matéria prima	kg	0,000326443	0,000285978	0,000326441	0,000286058
164	Prata, 3.2ppm em sulfeto, Ag 1.2ppm, Cu and Te, em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,000307033	0,000314974	0,000306775	0,00032606
165	Olivina, no solo	Matéria prima	kg	0,000228057	0,000418384	0,000228049	0,000533456
166	Transformação, de área industrial, bentos	Matéria prima	m2	0,000117389	0,00010794	0,000117355	0,00010816
167	Transformação, para mares e oceanos	Matéria prima	m2	0,000117389	0,00010794	0,000117355	0,00010816
168	Volume ocupado, repositório definitivo de resíduos radioativos	Matéria prima	m3	0,000109733	9,62657E-05	0,000109728	9,67531E-05
169	Índio, 0.005% em sulfeto, In 0.003%, Pb, Zn, Ag,	Matéria prima	kg	7,62422E-05	6,7854E-05	7,62376E-05	6,80776E-05

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
	Cd, no solo						
170	Madeira, floresta primária, em pé	Matéria prima	m3	7,48363E-05	6,47178E-05	7,48292E-05	6,49099E-05
171	Iodo, 0.03% em água	Matéria prima	kg	7,29816E-05	6,40797E-05	7,29811E-05	6,40985E-05
172	Ouro, Au 7.1E-4%, em minério, no solo	Matéria prima	kg	6,62769E-05	6,82215E-05	6,62198E-05	7,06636E-05
173	Prata, Ag 4.2E-3%, Au 1.1E-4%, em minério, no solo	Matéria prima	kg	6,47195E-05	6,63968E-05	6,4665E-05	6,87346E-05
174	Ouro, Au 2.1E-4%, Ag 2.1E-4%, em minério, no solo	Matéria prima	kg	6,39571E-05	6,58336E-05	6,3902E-05	6,81902E-05
175	Prata, Ag 4.6E-5%, Au 1.3E-4%, em minério, no solo	Matéria prima	kg	6,34362E-05	6,50802E-05	6,33828E-05	6,73716E-05
176	Ouro, Au 6.7E-4%, em minério, no solo	Matéria prima	kg	5,8777E-05	6,05014E-05	5,87264E-05	6,2667E-05
177	Telúrio, 0.5ppm em sulfeto, Te 0.2ppm, Cu e Ag, em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	4,60551E-05	4,72462E-05	4,60163E-05	4,89093E-05
178	Ouro, Au 1.4E-4%, em minério, no solo	Matéria prima	kg	4,18734E-05	4,31019E-05	4,18374E-05	4,46447E-05
179	Prata, Ag 9.7E-4%, Au 9.7E-4%, Zn 0.63%, Cu 0.38%, Pb 0.014%, em minério, no solo	Matéria prima	kg	4,18583E-05	4,29431E-05	4,18231E-05	4,44551E-05
180	Cobalto, no solo	Matéria prima	kg	3,96065E-05	3,42356E-05	3,9605E-05	3,43051E-05
181	Ouro, Au 4.9E-5%, em minério, no solo	Matéria prima	kg	3,79656E-05	3,90794E-05	3,79329E-05	4,04782E-05
182	Ouro, Au 1.3E-4%, Ag 4.6E-5%, em minério, no solo	Matéria prima	kg	3,49716E-05	3,59977E-05	3,49415E-05	3,72862E-05
183	Prata, Ag 2.1E-4%, Au 2.1E-4%, em minério, no solo	Matéria prima	kg	2,83368E-05	2,90712E-05	2,83129E-05	3,00948E-05
184	Pd, Pd 7.3E-4%, Pt 2.5E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% em minério, no solo	Matéria prima	kg	2,38087E-05	2,27095E-05	2,37995E-05	2,33271E-05
185	Ouro, Au 1.1E-4%, Ag 4.2E-3%, em minério, no solo	Matéria prima	kg	1,90709E-05	1,96304E-05	1,90545E-05	2,03331E-05
186	Ouro, Au 4.3E-4%, em minério, no solo	Matéria prima	kg	1,58512E-05	1,63163E-05	1,58376E-05	1,69003E-05
187	Pd, Pd 2.0E-4%, Pt 4.8E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% em minério, no solo	Matéria prima	kg	9,90722E-06	9,4498E-06	9,90337E-06	9,7068E-06
188	Feldspato, no solo	Matéria prima	kg	8,9966E-06	8,30035E-06	8,96341E-06	8,33112E-06
189	Madeira, não especificada, em pé/m3	Matéria prima	m3	5,39712E-06	4,91939E-06	5,39679E-06	5,11928E-06
190	TiO ₂ , 95% em rutilo, 0.40% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	4,35036E-06	4,11704E-06	4,34863E-06	4,19103E-06

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
191	Ouro, Au 9.7E-4%, Ag 9.7E-4%, Zn 0.63%, Cu 0.38%, Pb 0.014%, em minério, no solo	Matéria prima	kg	3,97151E-06	4,08803E-06	3,96809E-06	4,23435E-06
192	Diatomita, no solo	Matéria prima	kg	1,36253E-06	1,22148E-06	1,36245E-06	1,22608E-06
193	Pt, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% em minério, no solo	Matéria prima	kg	1,33321E-06	1,18482E-06	1,33313E-06	1,19837E-06
194	Lítio, 0.15% em solução salina, no solo	Matéria prima	kg	1,24973E-06	1,06966E-06	1,24972E-06	1,06997E-06
195	Rh, Rh 2.4E-5%, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% em minério, no solo	Matéria prima	kg	5,40433E-07	4,8667E-07	5,40389E-07	4,95462E-07
196	Pt, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% em minério, no solo	Matéria prima	kg	3,71895E-07	3,305E-07	3,71871E-07	3,34282E-07
197	Rênio, em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	2,52212E-07	2,33012E-07	2,52197E-07	2,36873E-07
198	Rh, Rh 2.0E-5%, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% em minério, no solo	Matéria prima	kg	1,72547E-07	1,55382E-07	1,72533E-07	1,58189E-07
199	Estibina, no solo	Matéria prima	kg	1,41597E-07	1,26938E-07	1,41589E-07	1,27416E-07
200	Granito, no solo	Matéria prima	kg	1,1105E-07	9,49448E-08	1,1104E-07	9,53622E-08
201	Gálio, 0.014% em bauxita, no solo	Matéria prima	kg	8,74494E-08	7,65992E-08	8,74461E-08	7,69873E-08
202	Nitrato de sódio, no solo	Matéria prima	kg	2,9115E-08	2,60524E-08	2,91086E-08	2,63447E-08
203	Radon-222	Ar	Bq	6932153125	6083244830	6931851872	6113611516
204	Gases nobres, radioativo, não especificado	Ar	Bq	3617919840	3173106228	3617776613	3189378215
205	Espécies radioativas, não especificado	Ar	Bq	11452351,89	9510904,979	11452351,89	9510904,979
206	Hidrogênio-3, trítio	Ar	Bq	2139270,946	1875888,329	2139188,483	1885574,811
207	Calor, resíduo	Ar	MJ	1953029,377	1670559,699	1952952,676	1673139,601
208	Xenon-133	Ar	Bq	636109,745	563425,4951	636047,4088	565231,6435
209	Carbono-14	Ar	Bq	383500,1962	336648,4245	383483,0668	338319,7585
210	Dióxido de carbono, fossil	Ar	kg	296636,5948	248061,663	296633,1543	248284,5491
211	Xenon-135	Ar	Bq	258514,0252	228928,7002	258488,9793	229670,1427
212	Xenon-135m	Ar	Bq	156174,4975	138377,793	156158,894	138813,5123
213	Crípton-85	Ar	Bq	146729,5414	128358,8704	146725,0632	129031,0242
214	Monóxido de carbono, fossil	Ar	kg	47152,74977	59529,90884	42885,22861	54470,60212
215	Argon-41	Ar	Bq	46783,69844	40923,74485	46782,28667	41138,47544

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
216	Xenon-138	Ar	Bq	30369,23702	26983,3784	30365,74113	27056,19059
217	Radon-220	Ar	Bq	19620,6151	17176,65102	19619,99772	17269,36337
218	Xenon-131m	Ar	Bq	19052,17804	16856,00902	19050,42934	16913,15704
219	Iodo-131	Ar	Bq	18441,24249	16129,16663	18440,69948	16214,1565
220	Dióxido de carbono, biogênico	Ar	kg	12402,19628	12059,89078	12402,14225	12063,74261
221	Crípton-85m	Ar	Bq	12271,02824	10897,76992	12269,64751	10928,01103
222	Dióxido de carbono	Ar	kg	6536,060086	6188,992658	6734,643281	6471,737535
223	Crípton-88	Ar	Bq	4305,41986	3814,136211	4304,9938	3826,253714
224	Polônio-210	Ar	Bq	4111,919317	3589,687597	4111,786138	3606,740376
225	Crípton-87	Ar	Bq	3979,522917	3517,233758	3979,179662	3529,739154
226	Xenon-137	Ar	Bq	3722,035816	3312,010051	3721,576865	3320,146872
227	Urânio alfa	Ar	Bq	2850,761952	2501,67697	2850,638073	2514,166803
228	Dióxido de enxofre	Ar	kg	2703,438611	2248,737224	2703,431672	2249,219302
229	Chumbo-210	Ar	Bq	2325,285868	2030,146509	2325,209771	2039,795605
230	Rádio-226	Ar	Bq	2297,898909	2013,085291	2297,805725	2022,955625
231	Espécies radioativas, outros emissores beta	Ar	Bq	2187,566401	1961,054756	2187,435185	1968,442822
232	Xenon-133m	Ar	Bq	1972,028153	1731,356004	1971,92954	1739,39791
233	Crípton-89	Ar	Bq	1358,674197	1209,015294	1358,506562	1211,982775
234	Urânio-238	Ar	Bq	1049,195089	917,7887987	1049,155081	922,2161801
235	Óxidos de nitrogênio	Ar	kg	983,4975345	853,5109612	984,7210329	855,7355829
236	Rádio-228	Ar	Bq	703,3750756	606,7619416	703,3553978	608,364548
237	Particulado, > 10 um	Ar	kg	672,4344969	559,2051708	672,4329298	559,2693272
238	Urânio-234	Ar	Bq	630,7707908	552,7572759	630,7436177	555,4608193
239	Potássio-40	Ar	Bq	538,6188598	469,7623834	538,6023406	471,9629414
240	Particulado, > 2.5 um, and < 10um	Ar	kg	489,6670728	406,9332752	489,6662484	406,9612526
241	Metano, fossil	Ar	kg	475,3561734	399,2152672	475,3490356	400,0340876
242	Iodo-129	Ar	Bq	376,4973204	330,2079585	376,482415	331,9012476
243	Particulado, não especificado	Ar	kg	268,1157925	222,663768	268,1157925	222,663768

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
244	Tório-230	Ar	Bq	214,7307579	187,6627684	214,7216743	188,5434959
245	Tório-232	Ar	Bq	165,8508933	144,7384114	165,8458101	145,4333947
246	Tório-228	Ar	Bq	132,7648935	115,489019	132,7609234	115,9734924
247	Particulado, < 2.5 um	Ar	kg	117,5166925	98,72467146	117,5149768	98,7596372
248	Metano	Ar	kg	116,8274527	97,02241184	116,8274527	97,02241184
249	Água	Ar	kg	95,73295984	89,89808457	94,59747818	88,45784627
250	Aerossóis, radioativo, não especificado	Ar	Bq	89,28214511	78,26817176	89,27889142	78,67922093
251	Tório-234	Ar	Bq	52,46942091	46,04562673	52,46713283	46,27570671
252	Protactínio-234	Ar	Bq	52,45985337	46,03720132	52,45756572	46,26723803
253	NM VOC, não-metano compostos orgânicos voláteis, origem não especificada	Ar	kg	43,34554585	37,82369916	43,34421966	37,98877772
254	Nitrogênio	Ar	kg	42,02720476	42,20387961	41,14053108	41,08052808
255	Urânio-235	Ar	Bq	29,59416282	25,97022426	29,59287666	26,0998742
256	Hidrocarbonetos, não especificado	Ar	kg	26,32780977	26,66133038	26,52151991	26,95846067
257	Fluoreto de hidrogênio	Ar	kg	25,23985672	20,97091709	25,23984487	20,97198632
258	Alumínio	Ar	kg	22,85328347	19,02489234	22,85318497	19,03015105
259	Hidrocarbonetos, alifáticos, alcanos, não especificado	Ar	kg	21,74546719	18,08399239	21,74543928	18,08447885
260	Amônia	Ar	kg	16,8555248	15,0193829	16,84795229	15,0135146
261	Monóxido de carbono, biogênico	Ar	kg	13,71892403	13,38436252	13,71841026	13,38487586
262	Cloreto de hidrogênio	Ar	kg	10,78530598	9,016813544	10,78523298	9,023114861
263	Monóxido de dinitrogênio	Ar	kg	6,985129808	6,195863383	6,962205804	6,16834489
264	VOC, compostos orgânicos voláteis	Ar	kg	6,694282124	5,559441572	6,694282124	5,559441572
265	Benzeno	Ar	kg	5,580786671	4,658274686	5,580767003	4,659184807
266	Particulado, fuligem	Ar	kg	5,398923366	5,467442347	5,438651684	5,528381264
267	Negro de fumo	Ar	kg	4,948801259	6,463518185	4,251847847	5,610019895
268	Actinídeos, radioativo, não especificado	Ar	Bq	3,881080615	3,427771633	3,88078371	3,4484862
269	Ácido isociânico	Ar	kg	3,860706002	3,769495966	3,860705987	3,769497129
270	Óxidos de enxofre	Ar	kg	3,669029108	3,04704113	3,669029108	3,04704113

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
271	Naftaleno	Ar	kg	3,090873508	2,566896695	3,090873508	2,566896695
272	Potássio	Ar	kg	2,848424742	2,757996081	2,848419728	2,758530286
273	Formaldeído	Ar	kg	2,74397198	2,625181236	2,743958454	2,62536939
274	Sulfeto de hidrogênio	Ar	kg	2,532285925	2,111892626	2,532258145	2,112145189
275	Eteno	Ar	kg	1,860970143	1,547602564	1,860961026	1,547982358
276	Etano	Ar	kg	1,426658326	1,250756214	1,426451589	1,252788713
277	Metano, biogênico	Ar	kg	1,313295047	1,218565962	1,313156754	1,223239684
278	Iodo-133	Ar	Bq	1,295562788	1,149990147	1,295422392	1,153953191
279	Sulfato	Ar	kg	1,166775512	0,982773065	1,166749548	0,984794306
280	Silício	Ar	kg	1,138552005	0,951556858	1,138545765	0,952028692
281	Dióxido de carbono, transformação de terra	Ar	kg	1,097112616	0,960563873	1,097064836	0,965755889
282	Iodo-135	Ar	Bq	1,019758877	0,898678265	1,019690905	0,903768303
283	Mercaptanos, não especificado	Ar	kg	0,95176238	0,790415949	0,95176238	0,790415949
284	Propano	Ar	kg	0,843054204	0,730208664	0,842964571	0,732043891
285	Cálcio	Ar	kg	0,831245659	0,791358531	0,831240136	0,791740973
286	Bário-140	Ar	Bq	0,69031964	0,615260328	0,690228431	0,616612166
287	Chumbo	Ar	kg	0,672699107	0,560566547	0,672694538	0,560732596
288	Bifenil	Ar	kg	0,594392084	0,493628443	0,594392084	0,493628443
289	Pentano	Ar	kg	0,537807019	0,473324502	0,537726431	0,475389741
290	Isopreno	Ar	kg	0,513631569	0,426558786	0,513631569	0,426558788
291	Ferro	Ar	kg	0,509114396	0,433570679	0,509101557	0,434499832
292	Hidrocarbonetos, alifáticos, insaturado	Ar	kg	0,445709027	0,423155702	0,445707357	0,423304593
293	Butano	Ar	kg	0,424371449	0,373938121	0,42430942	0,376099679
294	Níquel	Ar	kg	0,392072064	0,328147942	0,392058996	0,328313238
295	Magnésio	Ar	kg	0,377528778	0,32139045	0,377526554	0,321528942
296	Cromo	Ar	kg	0,36962308	0,309764894	0,369612785	0,310217428
297	Metanol	Ar	kg	0,282798083	0,270507692	0,282743457	0,270717103
298	Sódio	Ar	kg	0,225561612	0,211634505	0,225548461	0,211756409

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
299	Tolueno	Ar	kg	0,217918355	0,190023888	0,21790632	0,190309478
300	Cloreto	Ar	kg	0,211892071	0,180163382	0,211890895	0,18059651
301	Fluoreto	Ar	kg	0,195602624	0,162443312	0,195602624	0,162443312
302	Zinco	Ar	kg	0,194881841	0,1690389	0,194874262	0,169344503
303	Hexano	Ar	kg	0,192583815	0,167120757	0,19256883	0,167923927
304	Céριο-141	Ar	Bq	0,167346052	0,149150181	0,16732394	0,149477887
305	Xileno	Ar	kg	0,16502491	0,142048621	0,165019292	0,142578749
306	Fenantreno	Ar	kg	0,161684912	0,134275462	0,161684912	0,134275462
307	Propeno	Ar	kg	0,144393786	0,121087088	0,144392129	0,121406279
308	Césio-137	Ar	Bq	0,142076577	0,126628345	0,142057804	0,126906565
309	Boro	Ar	kg	0,133264665	0,116510723	0,133260633	0,11711853
310	Cobalto-60	Ar	Bq	0,131919932	0,117576076	0,131902502	0,117834419
311	Ozônio	Ar	kg	0,129435377	0,113511502	0,129426081	0,114091528
312	Manganês	Ar	kg	0,111905537	0,096141758	0,11190479	0,096188374
313	Ácido acético	Ar	kg	0,093383873	0,081789908	0,093368346	0,082245793
314	Hidrogênio	Ar	kg	0,084208897	0,089395934	0,084198979	0,098239287
315	PAH, policíclicos aromáticos hidrocarbonetos	Ar	kg	0,082219955	0,068719926	0,082219237	0,06873824
316	Carbono disulfeto	Ar	kg	0,079701312	0,073282819	0,079672621	0,074355664
317	Vanádio	Ar	kg	0,070013722	0,06476781	0,06997157	0,064861671
318	Heptano	Ar	kg	0,069864635	0,060234455	0,069858208	0,060528011
319	Etino	Ar	kg	0,062852176	0,052327722	0,062852031	0,052335356
320	Lantânio-140	Ar	Bq	0,058998259	0,052583301	0,058990464	0,052698836
321	Merúrio	Ar	kg	0,050347792	0,041894055	0,050347692	0,041913615
322	Hidrocarbonetos, aromático	Ar	kg	0,049473654	0,05025963	0,049463496	0,053511742
323	Titânio	Ar	kg	0,040725422	0,034462469	0,040724816	0,034518656
324	Fósforo	Ar	kg	0,03975405	0,038058868	0,039753973	0,038067179
325	Selênio	Ar	kg	0,039503728	0,032920277	0,039503375	0,032931327
326	Aldeídos, não especificado	Ar	kg	0,038468645	0,03196541	0,038468625	0,031970002

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
327	Acetaldeído	Ar	kg	0,037299475	0,03266953	0,037296768	0,032690892
328	Cobre	Ar	kg	0,037125622	0,032757543	0,037120319	0,03295944
329	BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno), proporção não especificada	Ar	kg	0,034715594	0,028830472	0,034715594	0,028830472
330	Substâncias orgânicas, não especificado	Ar	kg	0,027821089	0,023104751	0,027821089	0,023104751
331	Zinco-65	Ar	Bq	0,027421153	0,02443961	0,02741753	0,024493308
332	Zircônio-95	Ar	Bq	0,026803142	0,023888782	0,026799601	0,02394127
333	Bromina	Ar	kg	0,021333476	0,019349193	0,021333024	0,01941637
334	Hélio	Ar	kg	0,019688838	0,016853724	0,01968755	0,016911741
335	Flúor	Ar	kg	0,017059343	0,015546874	0,017058725	0,015601098
336	Cumeno	Ar	kg	0,015798569	0,013381373	0,015798368	0,013486191
337	Radionuclídeos (inclusive radon)	Ar	kg	0,015577219	0,012936509	0,015577219	0,012936509
338	Cobalto-58	Ar	Bq	0,014932996	0,013309304	0,014931023	0,013338547
339	m-xileno	Ar	kg	0,013999321	0,013629638	0,013999304	0,013631578
340	Arsênico	Ar	kg	0,012893411	0,011106878	0,01289205	0,011161247
341	Estrôncio	Ar	kg	0,011738445	0,009904087	0,011738316	0,009917794
342	Bário	Ar	kg	0,011619935	0,009809995	0,011619802	0,009824728
343	Cianeto	Ar	kg	0,01161974	0,009711833	0,011619534	0,00972391
344	Metil etil cetona	Ar	kg	0,011359713	0,011347538	0,011351438	0,011701937
345	Benzeno, etil-	Ar	kg	0,011258038	0,010123767	0,011257388	0,010160096
346	Etanol	Ar	kg	0,011079907	0,01013259	0,011074948	0,010160133
347	Cromo-51	Ar	Bq	0,010723551	0,009557556	0,010722134	0,009578555
348	Antimônio-125	Ar	Bq	0,01061224	0,009458357	0,010610837	0,009479137
349	Etil acetato	Ar	kg	0,009649325	0,009927122	0,009641049	0,010281521
350	Acetona	Ar	kg	0,009237455	0,008688836	0,009232781	0,00880079
351	Césio-134	Ar	Bq	0,008014854	0,007143384	0,008013795	0,00715908
352	Cádmio	Ar	kg	0,007882438	0,006730772	0,007881549	0,006747355
353	Iodo	Ar	kg	0,007602147	0,006652184	0,007601914	0,006687625

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
354	Buteno	Ar	kg	0,006996502	0,006036	0,006995851	0,006066835
355	Metano, tetrafluoro-, CFC-14	Ar	kg	0,00550056	0,004792039	0,005499744	0,004828014
356	Manganês-54	Ar	Bq	0,005491626	0,004894516	0,005490901	0,00490527
357	Berílio	Ar	kg	0,004012905	0,003334306	0,004012903	0,003334465
358	Cobalto	Ar	kg	0,003321117	0,003003096	0,003319877	0,003012502
359	Cloreto de benzila	Ar	kg	0,003070206	0,002549732	0,003070206	0,002549732
360	Nitrato	Ar	kg	0,003027275	0,002611704	0,003027183	0,00262084
361	Etano, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	Ar	kg	0,002691141	0,002439193	0,002690978	0,002446644
362	Isoforona	Ar	kg	0,002543885	0,002112635	0,002543885	0,002112635
363	Benzo(a)pireno	Ar	kg	0,002360579	0,001982241	0,002360561	0,001983741
364	Metano, monocloro-, R-40	Ar	kg	0,002325633	0,001931438	0,002325633	0,001931444
365	Monóxido de carbono	Ar	kg	0,002127066	0,001766478	0,002127066	0,001766478
366	2-Propanol	Ar	kg	0,002072396	0,002133285	0,002070612	0,002209659
367	Ácido propiônico	Ar	kg	0,001976121	0,001841642	0,001975427	0,001845726
368	Zircônio	Ar	kg	0,001881488	0,001562861	0,001881487	0,001562892
369	Propanal	Ar	kg	0,001670243	0,001387228	0,001670243	0,001387236
370	Hexafluoreto de enxofre	Ar	kg	0,001659159	0,001465213	0,001659098	0,001473771
371	Metano, dicloro-, HCC-30	Ar	kg	0,001529506	0,001270313	0,001529505	0,001270324
372	Etano, 1,2-dicloro-	Ar	kg	0,001450239	0,00125738	0,001450106	0,001272221
373	Prata-110	Ar	Bq	0,0014195	0,001265156	0,001419313	0,001267935
374	Fenol	Ar	kg	0,001319065	0,001164927	0,001318859	0,001174421
375	Cromo VI	Ar	kg	0,001207968	0,001076749	0,00120771	0,001088136
376	Molibdênio	Ar	kg	0,001029315	0,000918834	0,001029033	0,000921797
377	Antimônio-124	Ar	Bq	0,001016911	0,000906341	0,001016777	0,000908333
378	Policlorado bifenilos	Ar	kg	0,000980865	0,000814886	0,000980865	0,000814914
379	Acroleína	Ar	kg	0,000959689	0,000797273	0,000959689	0,000797298
380	t-butil metil éter	Ar	kg	0,000849872	0,000797611	0,00084987	0,000797716
381	Estanho	Ar	kg	0,000846685	0,000761551	0,000846468	0,000770991

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
382	Escândio	Ar	kg	0,000797851	0,000692792	0,000797823	0,000695591
383	Metano, clorodifluoro-, HCFC-22	Ar	kg	0,000762536	0,00069737	0,000762336	0,00069939
384	Hidrazina, metil-	Ar	kg	0,000745621	0,000619221	0,000745621	0,000619221
385	Ácido fluossilícico	Ar	kg	0,000714227	0,000622228	0,000714121	0,000626899
386	Metano, bromo-, halon 1001	Ar	kg	0,000701761	0,000582796	0,000701761	0,000582796
387	Antimônio	Ar	kg	0,000655955	0,000588288	0,000655798	0,000595428
388	Nióbio-95	Ar	Bq	0,000651914	0,000581031	0,000651828	0,000582307
389	Etano, hexafluoro-, HFC-116	Ar	kg	0,000628935	0,000550698	0,000628829	0,000555342
390	Cloreto de amônio	Ar	kg	0,00058163	0,00048303	0,00058163	0,00048303
391	Hidrocarbonetos, clorada	Ar	kg	0,000446286	0,000414494	0,000446177	0,000423262
392	Eteno, cloro-	Ar	kg	0,000428845	0,000384122	0,00042876	0,000390717
393	Monoetanolamina	Ar	kg	0,000375033	0,000364216	0,000374819	0,000373459
394	Ftalato, dioctil-	Ar	kg	0,000320179	0,000265901	0,000320179	0,000265901
395	Querosene	Ar	kg	0,000278559	0,000231336	0,000278559	0,000231336
396	Cloroformio	Ar	kg	0,000269042	0,000224691	0,000269038	0,000224877
397	Metano, tetracloro-, CFC-10	Ar	kg	0,000230954	0,000193343	0,000230952	0,000193832
398	Fenóis, não especificado	Ar	kg	0,000222373	0,000184675	0,000222373	0,000184675
399	Óxido de propileno	Ar	kg	0,00022215	0,000205521	0,000222099	0,000207742
400	Hidrocarbonetos, alifáticos, alcanos, cíclico	Ar	kg	0,000220273	0,000249804	0,000220269	0,000283079
401	Ácido sulfúrico, dimetil ester	Ar	kg	0,000210528	0,000174839	0,000210528	0,000174839
402	Estireno	Ar	kg	0,000206499	0,000179818	0,000206487	0,000181547
403	Óxido etilene	Ar	kg	0,000203358	0,000173335	0,00020335	0,000174894
404	Eteno, tetracloro-	Ar	kg	0,0002006	0,000166598	0,0002006	0,000166598
405	Metano, bromotrifluoro-, halon 1301	Ar	kg	0,000199751	0,000171897	0,000199734	0,00017267
406	Metano, bromoclorodifluoro-, halon 1211	Ar	kg	0,000192377	0,00017672	0,000192322	0,00017709
407	Etano, cloro-	Ar	kg	0,000184212	0,000152984	0,000184212	0,000152984
408	Bromofórmio	Ar	kg	0,000171054	0,000142057	0,000171054	0,000142057
409	Tório	Ar	kg	0,00016856	0,000140459	0,000168559	0,000140486

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
410	Etano, 1,2-dicloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	Ar	kg	0,00016085	0,000141173	0,000160843	0,000141852
411	Rutênio-103	Ar	Bq	0,000143228	0,000127655	0,000143209	0,000127935
412	Plutônio-alfa	Ar	Bq	0,000117737	0,000103262	0,000117733	0,000103792
413	Fenol, pentacloro-	Ar	kg	9,92212E-05	8,69397E-05	9,92183E-05	8,74002E-05
414	Urânio	Ar	kg	9,87456E-05	8,26158E-05	9,8745E-05	8,26495E-05
415	Benzeno, cloro-	Ar	kg	9,64922E-05	8,01344E-05	9,64922E-05	8,01344E-05
416	Etano, 1,1,1-tricloro-, HCFC-140	Ar	kg	8,78444E-05	7,29546E-05	8,78444E-05	7,29548E-05
417	Metil metacrilato	Ar	kg	8,77202E-05	7,28495E-05	8,77202E-05	7,28495E-05
418	Tungstênio	Ar	kg	7,17243E-05	6,29413E-05	7,17212E-05	6,32555E-05
419	Acetofenona	Ar	kg	6,57901E-05	5,46371E-05	6,57901E-05	5,46371E-05
420	Ácido fórmico	Ar	kg	6,46136E-05	5,78598E-05	6,45982E-05	5,84386E-05
421	Tálio	Ar	kg	6,01703E-05	5,07485E-05	6,0169E-05	5,0793E-05
422	Hidróxido de sódio	Ar	kg	5,38186E-05	5,53923E-05	5,37723E-05	5,73741E-05
423	Carbonato de amônio	Ar	kg	5,2745E-05	5,07151E-05	5,27446E-05	5,076E-05
424	Plutônio-238	Ar	Bq	5,13603E-05	4,50457E-05	5,13583E-05	4,52767E-05
425	Dicromato de sódio	Ar	kg	3,60087E-05	7,24028E-05	3,60056E-05	9,29258E-05
426	Acetato de vinila	Ar	kg	3,33337E-05	2,76828E-05	3,33337E-05	2,76828E-05
427	2-Cloroacetofenona	Ar	kg	3,07021E-05	2,54973E-05	3,07021E-05	2,54973E-05
428	Prata	Ar	kg	2,8409E-05	2,49346E-05	2,84077E-05	2,50589E-05
429	Etil celulose	Ar	kg	1,94682E-05	2,00396E-05	1,94515E-05	2,07569E-05
430	Furano	Ar	kg	1,49243E-05	1,29064E-05	1,49229E-05	1,29447E-05
431	Peróxido de hidrogênio	Ar	kg	1,44417E-05	1,4862E-05	1,44293E-05	1,53934E-05
432	Clorato de sódio	Ar	kg	1,42568E-05	1,30488E-05	1,42529E-05	1,32512E-05
433	Butadieno	Ar	kg	1,24519E-05	1,03536E-05	1,24518E-05	1,03559E-05
434	Etano, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Ar	kg	1,13523E-05	9,94372E-06	1,13519E-05	9,99412E-06
435	Tetrafluoreto de silício	Ar	kg	1,13155E-05	9,49167E-06	1,13152E-05	9,50893E-06
436	Ácido sulfúrico	Ar	kg	1,1289E-05	1,16149E-05	1,12793E-05	1,20297E-05
437	Ácido cloroacético	Ar	kg	9,25293E-06	8,40323E-06	9,25281E-06	8,40962E-06

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
438	Acetonitrila	Ar	kg	7,85763E-06	6,79521E-06	7,85688E-06	6,81538E-06
439	Terpenos	Ar	kg	6,5481E-06	5,66275E-06	6,54748E-06	5,67956E-06
440	Metil acrilato	Ar	kg	6,08472E-06	6,26324E-06	6,07948E-06	6,48743E-06
441	Benzeno, hexacloro-	Ar	kg	6,02148E-06	5,19504E-06	6,02094E-06	5,21328E-06
442	Ácido acrílico	Ar	kg	5,3629E-06	5,52022E-06	5,35829E-06	5,71781E-06
443	Etano, 1,2-dibromo-	Ar	kg	5,26321E-06	4,37097E-06	5,26321E-06	4,37097E-06
444	Fluoreno	Ar	kg	4,17483E-06	3,4671E-06	4,17483E-06	3,4671E-06
445	Clorosilane, trimetil-	Ar	kg	3,57821E-06	3,17497E-06	3,57761E-06	3,20091E-06
446	Fluoranteno	Ar	kg	3,25729E-06	2,7051E-06	3,25729E-06	2,7051E-06
447	Formato de sódio	Ar	kg	3,05424E-06	2,60014E-06	3,05404E-06	2,6115E-06
448	Benzaldeído	Ar	kg	3,02725E-06	2,60694E-06	3,02718E-06	2,61467E-06
449	Acenafteno	Ar	kg	2,37436E-06	1,97343E-06	2,37436E-06	1,97359E-06
450	Metano, diclorodifluoro-, CFC-12	Ar	kg	2,32233E-06	2,58369E-06	2,32088E-06	2,78796E-06
451	Ácidos orgânicos	Ar	kg	2,13734E-06	1,77501E-06	2,13734E-06	1,77501E-06
452	Pireno	Ar	kg	1,51395E-06	1,2573E-06	1,51395E-06	1,2573E-06
453	Trióxido de enxofre	Ar	kg	1,40047E-06	1,24933E-06	1,40046E-06	1,24975E-06
454	Tolueno, 2,4-dinitro-	Ar	kg	1,22808E-06	1,01989E-06	1,22808E-06	1,01989E-06
455	Acenaftileno	Ar	kg	1,14693E-06	9,525E-07	1,14693E-06	9,525E-07
456	Dioxina, 2,3,7,8 tetraclorodibenzo-p-	Ar	kg	1,07357E-06	8,92498E-07	1,07357E-06	8,92538E-07
457	Antraceno	Ar	kg	9,63423E-07	8,001E-07	9,63423E-07	8,001E-07
458	1-Propanol	Ar	kg	9,47338E-07	8,60418E-07	9,47322E-07	8,62274E-07
459	Metano, trifluoro-, HFC-23	Ar	kg	5,86966E-07	5,95688E-07	5,86435E-07	6,15274E-07
460	Benzo(b,j,k)fluoranteno	Ar	kg	5,0465E-07	4,191E-07	5,0465E-07	4,191E-07
461	Etilene diamina	Ar	kg	4,85223E-07	4,04806E-07	4,8522E-07	4,04949E-07
462	Criseno	Ar	kg	4,58773E-07	3,81E-07	4,58773E-07	3,81E-07
463	Benzeno, pentacloro-	Ar	kg	3,76905E-07	3,57574E-07	3,76849E-07	3,61754E-07
464	Benzo(a)antraceno	Ar	kg	3,67018E-07	3,048E-07	3,67018E-07	3,048E-07
465	Indeno(1,2,3-cd)pireno	Ar	kg	2,79852E-07	2,3241E-07	2,79852E-07	2,3241E-07

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
466	Benzeno, 1,2-dicloro-	Ar	kg	2,61573E-07	2,479E-07	2,61572E-07	2,4794E-07
467	Etano, 1,1,2-tricloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	Ar	kg	2,5452E-07	2,61986E-07	2,543E-07	2,71364E-07
468	Nitrobenzeno	Ar	kg	1,66884E-07	1,48351E-07	1,66883E-07	1,48401E-07
469	1,4-Butanediol	Ar	kg	1,37574E-07	1,39639E-07	1,37478E-07	1,43729E-07
470	Benzo(g,h,i)perileno	Ar	kg	1,23869E-07	1,0287E-07	1,23869E-07	1,0287E-07
471	Anilina	Ar	kg	1,16582E-07	1,03003E-07	1,16581E-07	1,03039E-07
472	5-Metil criseno	Ar	kg	1,0093E-07	8,382E-08	1,0093E-07	8,382E-08
473	Cloramina	Ar	kg	9,76558E-08	8,51758E-08	9,76553E-08	8,51982E-08
474	Dimetil malonato	Ar	kg	9,06444E-08	8,73721E-08	9,06442E-08	8,73845E-08
475	Ácido clorossulfônico	Ar	kg	8,82629E-08	8,50766E-08	8,82626E-08	8,50886E-08
476	Ácido metanosulfônico	Ar	kg	7,30458E-08	7,04088E-08	7,30455E-08	7,04188E-08
477	Ácido cianoacético	Ar	kg	7,22841E-08	6,96746E-08	7,22839E-08	6,96845E-08
478	Tolueno, 2-cloro-	Ar	kg	6,41401E-08	5,81158E-08	6,41396E-08	5,81329E-08
479	t-butilamina	Ar	kg	5,74217E-08	5,5081E-08	5,74215E-08	5,50913E-08
480	Dietilamina	Ar	kg	5,57646E-08	4,95814E-08	5,57642E-08	4,95982E-08
481	2-Metil-1-propanol	Ar	kg	4,79982E-08	4,18599E-08	4,7998E-08	4,18714E-08
482	Formamida	Ar	kg	4,31982E-08	3,69738E-08	4,3198E-08	3,69844E-08
483	Etilamina	Ar	kg	4,1199E-08	3,67304E-08	4,11986E-08	3,67451E-08
484	Metil amina	Ar	kg	3,68154E-08	3,61563E-08	3,68053E-08	3,65875E-08
485	Metil formato	Ar	kg	3,50142E-08	3,40618E-08	3,49939E-08	3,49341E-08
486	Butyrolactone	Ar	kg	3,22968E-08	3,32037E-08	3,22692E-08	3,43851E-08
487	Dipropilamina	Ar	kg	3,13444E-08	2,75569E-08	3,13442E-08	2,7567E-08
488	Metil lactato	Ar	kg	2,69558E-08	2,36986E-08	2,69555E-08	2,37073E-08
489	Ácido láctico	Ar	kg	2,45535E-08	2,15865E-08	2,45532E-08	2,15945E-08
490	1-Pentanol	Ar	kg	2,36193E-08	2,0216E-08	2,36191E-08	2,02218E-08
491	1-Penteno	Ar	kg	1,7849E-08	1,52772E-08	1,78489E-08	1,52815E-08
492	Tar	Ar	kg	1,76251E-08	1,46372E-08	1,76251E-08	1,46372E-08
493	Cloreto	Ar	kg	1,56706E-08	1,3014E-08	1,56706E-08	1,3014E-08

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
494	Propilamina	Ar	kg	1,36803E-08	1,17092E-08	1,36802E-08	1,17125E-08
495	Fenol, 2,4-dicloro-	Ar	kg	1,33817E-08	1,28263E-08	1,33816E-08	1,28302E-08
496	2-Ácido nitrobenzóico	Ar	kg	1,27584E-08	1,23002E-08	1,27583E-08	1,23021E-08
497	Benzeno, 1-metil-2-nitro-	Ar	kg	1,10175E-08	1,06219E-08	1,10175E-08	1,06235E-08
498	Isopropilamina	Ar	kg	1,0905E-08	1,02817E-08	1,0905E-08	1,02854E-08
499	Ácido antranílico	Ar	kg	9,29755E-09	8,96364E-09	9,29752E-09	8,96501E-09
500	Metil borato	Ar	kg	9,2619E-09	7,98324E-09	9,26185E-09	7,9856E-09
501	1-Butanol	Ar	kg	8,93242E-09	8,61373E-09	8,93208E-09	8,62816E-09
502	2-Aminopropanol	Ar	kg	7,19555E-09	6,91975E-09	7,19553E-09	6,9208E-09
503	Platina	Ar	kg	5,49224E-09	4,81674E-09	5,49202E-09	4,84088E-09
504	Trimetilamina	Ar	kg	5,22847E-09	5,04067E-09	5,22845E-09	5,04145E-09
505	Fosfina	Ar	kg	4,63562E-09	4,77161E-09	4,63163E-09	4,9424E-09
506	Metano, triclorofluoro-, CFC-11	Ar	kg	2,99477E-09	3,03927E-09	2,99206E-09	3,1392E-09
507	Metil acetato	Ar	kg	2,95432E-09	2,84823E-09	2,95431E-09	2,84866E-09
508	Metano, diclorofluoro-, HCFC-21	Ar	kg	1,84473E-09	1,87214E-09	1,84306E-09	1,9337E-09
509	Arsina	Ar	kg	6,25116E-11	6,43454E-11	6,24578E-11	6,66486E-11
510	Metais, não especificado	Ar	kg	5,81093E-11	4,82584E-11	5,81093E-11	4,82584E-11
511	2-Buteno, 2-metil-	Ar	kg	3,95904E-12	3,3886E-12	3,95902E-12	3,38956E-12
512	Trifluoreto de boro	Ar	kg	8,5552E-13	8,80618E-13	8,54784E-13	9,12138E-13
513	Cloreto de benzal	Ar	kg	5,36805E-13	5,15502E-13	5,3655E-13	5,26118E-13
514	Hidrogênio-3, trítio	Água	Bq	161275342,2	141448701,2	161268938,7	142173480
515	Rádio-226	Água	Bq	631889,183	553986,7226	631860,4249	556743,3334
516	Estrôncio-90	Água	Bq	509564,065	445684,8484	509549,052	448034,1617
517	Espécies radioativas, nuclídeos, não especificado	Água	Bq	384792,0793	336641,659	384777,5625	338291,0349
518	Tório-230	Água	Bq	131955,4062	115796,937	131949,6714	116375,0224
519	Césio-137	Água	Bq	70459,52635	61799,56873	70456,71786	62115,94066
520	Tório-228	Água	Bq	62361,62947	53856,42608	62355,51335	54135,0153
521	Urânio alfa	Água	Bq	55718,32601	48895,37435	55715,90456	49139,462

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
522	Rádio-228	Água	Bq	31155,41061	26907,00426	31152,35268	27046,28735
523	Calor, residuo	Água	MJ	22130,22739	19504,7081	22129,34036	19612,99207
524	Rádio-224	Água	Bq	15577,04916	13452,8572	15575,52052	13522,48363
525	Polônio-210	Água	Bq	7471,695098	6314,827203	7471,463658	6328,746079
526	Urânio-238	Água	Bq	5562,72876	4799,918365	5562,519862	4818,005889
527	Chumbo-210	Água	Bq	5189,052728	4394,451491	5188,891619	4404,955786
528	Sulfato	Água	kg	4699,132833	3959,168183	4699,059941	3965,792457
529	Urânio-235	Água	Bq	1914,89811	1680,411208	1914,814887	1688,800206
530	Potássio-40	Água	Bq	1591,001979	1374,727582	1590,951734	1380,535759
531	Cloreto	Água	kg	1270,690175	1064,317185	1270,668385	1065,62751
532	Urânio-234	Água	Bq	1160,546647	1018,432456	1160,496209	1023,516751
533	Cálcio, ion	Água	kg	1130,319259	955,1594971	1130,281907	956,9346539
534	Cobalto-58	Água	Bq	1070,489601	946,3207975	1070,398706	949,8266395
535	Tório-234	Água	Bq	967,2381943	848,7957306	967,196158	853,0330748
536	Protactínio-234	Água	Bq	967,1335761	848,7038375	967,0915447	852,9407497
537	Cobalto-60	Água	Bq	872,8418139	772,2645376	872,7632784	774,9990173
538	Prata-110	Água	Bq	824,798971	729,9996113	824,7233852	732,540421
539	Sódio, ion	Água	kg	774,0526008	652,1857207	774,03702	653,288226
540	Silício	Água	kg	685,4054013	584,5698227	685,3767879	586,4499034
541	Actinídeos, radioativo, não especificado	Água	Bq	611,5379774	536,3515106	611,513767	539,101788
542	Magnésio	Água	kg	591,2607456	498,4172843	591,2503287	499,2783409
543	Potássio, ion	Água	kg	397,1324595	334,2725727	397,1264423	334,7799838
544	COD, demanda química de oxigênio	Água	kg	248,8226574	211,1989925	248,8141048	212,1751959
545	Água residual/m3	Água	m3	219,201	182,0412	219,201	182,0412
546	Tório-232	Água	Bq	198,8429347	174,0382523	198,8365839	174,974678
547	Fosfato	Água	kg	197,3471168	166,1173945	197,3444553	166,3704041
548	Solvente sólido	Água	kg	179,8408129	149,4176238	179,8406872	149,4253927
549	Cromo-51	Água	Bq	174,73784	155,0837839	174,7189704	155,5448863

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
550	BOD5, demanda biológica de oxigênio	Água	kg	143,7491031	124,3616984	143,7418876	125,2364482
551	Ferro, ion	Água	kg	138,0127349	116,8797567	138,0091898	117,1518337
552	Antimônio-124	Água	Bq	107,7074298	94,68438049	107,7017342	95,13097863
553	Antimônio-125	Água	Bq	98,96019111	87,01590815	98,95480253	87,42443956
554	TOC, total orgânico carbono	Água	kg	93,22277471	79,63296242	93,21999644	79,77803234
555	DOC, carbono orgânico dissolvido	Água	kg	92,63183762	79,05508097	92,6290624	79,19632282
556	Césio-134	Água	Bq	83,67900794	73,39484245	83,67564828	73,7737855
557	Zinco-65	Água	Bq	67,65200216	60,29616475	67,64306294	60,42864535
558	Manganês-54	Água	Bq	65,47442257	57,87221525	65,46890888	58,08813815
559	Nitrato	Água	kg	59,67443069	50,28282523	59,67392171	50,3544793
560	Alumínio	Água	kg	58,0918326	49,72872115	58,08798776	49,91793804
561	Sólidos em suspensão, não especificado	Água	kg	50,39086362	42,1945091	50,3898324	42,22574517
562	Manganês	Água	kg	48,27270903	40,78141896	48,27167639	40,85592944
563	Sólidos, inorgânico	Água	kg	47,30083024	40,13689271	47,30024763	40,24868753
564	Estrôncio	Água	kg	20,86354987	17,56462876	20,86326031	17,59145388
565	Iodo-131	Água	Bq	20,57118581	18,10611361	20,56994066	18,18694785
566	Óleos, não especificado	Água	kg	20,49515099	17,6982637	20,4930785	17,79155569
567	Estrôncio-89	Água	Bq	16,06779397	14,244073	16,06615978	14,28954882
568	Tecnécio-99m	Água	Bq	15,20966839	13,55493691	15,20766469	13,58487497
569	Espécies radioativas, emissões alfa	Água	Bq	12,91116849	10,84663259	12,91075956	10,86638343
570	Telúrio-123m	Água	Bq	10,94479219	9,60355012	10,94433083	9,652390007
571	Nióbio-95	Água	Bq	8,58273502	7,553133973	8,582215953	7,587576392
572	Zinco, ion	Água	kg	8,175549904	6,939682577	8,175164014	6,959613921
573	Bário	Água	kg	6,7160391	5,610419151	6,715992918	5,614285447
574	Níquel, ion	Água	kg	5,52398529	4,652166457	5,523895667	4,659582667
575	Sódio-24	Água	Bq	4,989865842	4,447305904	4,989206526	4,457077561
576	Cobalto-57	Água	Bq	4,045487272	3,605615924	4,044952757	3,613537954
577	Fluoreto	Água	kg	3,345986879	3,097843978	3,344726286	3,153342973

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
578	Lantânio-140	Água	Bq	1,912795607	1,704814207	1,912542867	1,70856009
579	Bário-140	Água	Bq	1,795912714	1,600639872	1,795675417	1,60415668
580	Ferro	Água	kg	1,752279496	1,455226314	1,752279496	1,455226314
581	Barita	Água	kg	1,528822532	1,354072686	1,528551361	1,359965777
582	Titânio, ion	Água	kg	1,498608723	1,293446547	1,498516842	1,299757351
583	Ácidos carboxílicos, não especificado	Água	kg	1,331809739	1,15103814	1,331675668	1,157068778
584	Amônio, ion	Água	kg	1,26863973	1,136412688	1,267743834	1,136583943
585	Cobalto	Água	kg	1,221998615	1,033023798	1,221963563	1,03529757
586	Iodo-133	Água	Bq	1,127443607	1,004854796	1,127294639	1,007062648
587	Cobre, ion	Água	kg	1,009703256	0,862333639	1,009644324	0,866323452
588	Boro	Água	kg	0,948097621	0,864353499	0,947828918	0,876466739
589	Brometo	Água	kg	0,800106428	0,664482214	0,800106427	0,664482284
590	Zircônio-95	Água	Bq	0,783422304	0,698239141	0,78331879	0,699773315
591	Cério-141	Água	Bq	0,718027082	0,639954585	0,717932209	0,641360709
592	Molibdênio-99	Água	Bq	0,659497497	0,587789725	0,659410357	0,589081195
593	Cromo VI	Água	kg	0,631991458	0,533700193	0,631976035	0,534875586
594	Lítio, ion	Água	kg	0,483592146	0,401717842	0,483591759	0,401733996
595	Antimônio-122	Água	Bq	0,409981905	0,365403766	0,409927734	0,366206625
596	Vanádio, ion	Água	kg	0,336447338	0,285768753	0,336436247	0,286528331
597	Nitrogênio	Água	kg	0,325517106	0,304947985	0,324998526	0,304987265
598	Ferro-59	Água	Bq	0,309958935	0,276256454	0,309917981	0,276863431
599	Arsênico, ion	Água	kg	0,307553132	0,26065597	0,307540978	0,261348779
600	Molibdênio	Água	kg	0,304242557	0,257171697	0,304234449	0,257731879
601	Bromina	Água	kg	0,24099993	0,20963607	0,240974066	0,211049668
602	Cério-144	Água	Bq	0,218591395	0,194823674	0,218562512	0,195251743
603	Selênio	Água	kg	0,198508259	0,167765611	0,19850246	0,168141318
604	Clorato	Água	kg	0,177081873	0,197206415	0,177079359	0,222344112
605	Hidrocarbonetos, aromático	Água	kg	0,16688783	0,144183892	0,166871282	0,144931364

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
606	Rutênio-103	Água	Bq	0,139158931	0,124027906	0,139140544	0,124300415
607	Chumbo	Água	kg	0,130174625	0,111679111	0,130165298	0,112254373
608	Césio-136	Água	Bq	0,127437402	0,113580885	0,127420563	0,113830449
609	Cianeto	Água	kg	0,122236971	0,102102741	0,122234592	0,102198032
610	Escândio	Água	kg	0,121786954	0,103024566	0,1217838	0,103250326
611	Sulfeto de hidrogênio	Água	kg	0,115494205	0,097085337	0,115460157	0,097116875
612	VOC, compostos orgânicos voláteis, origem não especificada	Água	kg	0,11144811	0,096283586	0,111437307	0,09678159
613	Berílio	Água	kg	0,094473865	0,079555974	0,09447207	0,079689064
614	Fósforo	Água	kg	0,090241464	0,075783372	0,090241166	0,07582018
615	Nitrogênio, orgânico ligado	Água	kg	0,076743904	0,067458391	0,076729878	0,067985212
616	Cádmio, ion	Água	kg	0,072843437	0,062423149	0,07283706	0,062712515
617	Amônia	Água	kg	0,068409883	0,056812776	0,068409883	0,056812776
618	Benzeno	Água	kg	0,06519779	0,05552859	0,065195028	0,055891446
619	Enxofre	Água	kg	0,062654936	0,054070679	0,062649001	0,054329178
620	Tolueno	Água	kg	0,044564699	0,038301731	0,044560922	0,038477892
621	Formaldeído	Água	kg	0,042732165	0,041461097	0,042732136	0,041474345
622	Hidrocarbonetos, alifáticos, alcanos, não especificado	Água	kg	0,04050101	0,034978035	0,040497036	0,035159065
623	Hidrocarbonetos, não especificado	Água	kg	0,039254359	0,036327371	0,039248705	0,037443924
624	Antimônio	Água	kg	0,038227856	0,034017458	0,038221872	0,03455272
625	Telúrio-132	Água	Bq	0,038186311	0,034034309	0,038181266	0,034109088
626	Cumeno	Água	kg	0,037907184	0,032108277	0,037906701	0,032360149
627	Fenol	Água	kg	0,035630216	0,031329295	0,035627213	0,03153678
628	Xileno	Água	kg	0,034847951	0,029996329	0,034844817	0,0301389
629	Iodeto	Água	kg	0,032095389	0,02772908	0,0320923	0,027872496
630	Tungstênio	Água	kg	0,031454042	0,028389156	0,031445702	0,028752084
631	Estanho, ion	Água	kg	0,025836022	0,023219994	0,025830084	0,023526975
632	Bromato	Água	kg	0,023032671	0,02568411	0,023032373	0,02897368

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
633	Sulfito	Água	kg	0,022574685	0,019769627	0,022573965	0,019876379
634	Carbonato	Água	kg	0,018429861	0,022670392	0,018427398	0,026087535
635	Mercúrio	Água	kg	0,01741023	0,014632803	0,017410084	0,014654034
636	Metanol	Água	kg	0,015627832	0,015044639	0,015626894	0,015061761
637	Eteno	Água	kg	0,015374085	0,01301234	0,015373966	0,01311477
638	Propeno	Água	kg	0,014533043	0,012387864	0,014532664	0,012499779
639	Hipoclorito	Água	kg	0,008304958	0,007273367	0,008304694	0,007312658
640	Tributilestanho compostos	Água	kg	0,00829174	0,006901831	0,008291703	0,0069037
641	Cloro	Água	kg	0,008265248	0,007730219	0,008201855	0,007663242
642	Cromo	Água	kg	0,007863134	0,006530145	0,007863134	0,006530145
643	Prata	Água	kg	0,007839768	0,00651074	0,007839768	0,00651074
644	Benzeno, etil-	Água	kg	0,007830106	0,006750668	0,007829372	0,006784093
645	Zinco	Água	kg	0,007203889	0,005982658	0,007203889	0,005982658
646	Tálio	Água	kg	0,006555894	0,005636786	0,006555278	0,005665444
647	Metano, dicloro-, HCC-30	Água	kg	0,003904974	0,0034045	0,003904495	0,003421587
648	Ácido benzóico	Água	kg	0,003787013	0,003145024	0,003787013	0,003145024
649	Hidrocarbonetos, alifáticos, insaturado	Água	kg	0,003738682	0,003228869	0,003738315	0,003245579
650	Ácido acético	Água	kg	0,003572516	0,036545012	0,003572374	0,053550883
651	Detergente, óleo	Água	kg	0,003181982	0,00264256	0,003181982	0,00264256
652	Rubídio	Água	kg	0,003115399	0,002690564	0,003115094	0,00270449
653	PAH, policíclicos aromáticos hidrocarbonetos	Água	kg	0,002618697	0,002240348	0,002618505	0,00224907
654	Nitrito	Água	kg	0,002583858	0,002333068	0,002583678	0,002395551
655	Prata, ion	Água	kg	0,002503	0,002192984	0,002502625	0,002210642
656	Cromo, ion	Água	kg	0,002452919	0,00243796	0,002452769	0,002613874
657	Trietileno glicol	Água	kg	0,002159295	0,001985265	0,002158683	0,001989364
658	Ácido fluossilícico	Água	kg	0,001285607	0,001120008	0,001285416	0,001128417
659	Ácido cloroacético	Água	kg	0,001235163	0,001188937	0,001235159	0,001189117
660	Sulfeto	Água	kg	0,001229129	0,001065109	0,001229073	0,001070032

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
661	AOX, Adsorvíveis orgânicos halogenados como Cl	Água	kg	0,001036367	0,000941378	0,001036323	0,000944245
662	Níquel	Água	kg	0,000981658	0,000815243	0,000981658	0,000815243
663	Estanho	Água	kg	0,000788118	0,000654513	0,000788118	0,000654513
664	Ácido hexanóico	Água	kg	0,000784255	0,000651305	0,000784255	0,000651305
665	t-butil metil éter	Água	kg	0,000611097	0,000530191	0,000611032	0,000533167
666	Óxido de propileno	Água	kg	0,000534369	0,000494353	0,000534246	0,00049969
667	Hidróxido	Água	kg	0,000409182	0,000419501	0,000408839	0,000434221
668	Fenóis, não especificado	Água	kg	0,0004054	0,000336675	0,0004054	0,000336675
669	Benzeno, cloro-	Água	kg	0,000327387	0,000335048	0,000327122	0,000346387
670	Césio	Água	kg	0,00031154	0,000269056	0,000311509	0,000270449
671	Nitrogênio, total	Água	kg	0,000309572	0,000257092	0,000309572	0,000257092
672	Acidez, não especificado	Água	kg	0,00026802	0,000364779	0,000267995	0,000433376
673	Hexadecano	Água	kg	0,000225361	0,000187157	0,000225361	0,000187157
674	Dodecano	Água	kg	0,000206468	0,000171467	0,000206468	0,000171467
675	Glutaraldeído	Água	kg	0,000188745	0,000167171	0,000188712	0,000167899
676	Peróxido de hidrogênio	Água	kg	0,000185547	0,010296793	0,000185111	0,015429416
677	Benzenos, alquilação, não especificado	Água	kg	0,000165945	0,000137814	0,000165945	0,000137814
678	Dicromato	Água	kg	0,000132228	0,000118463	0,000132222	0,000119114
679	Metil acrilato	Água	kg	0,000118867	0,000122354	0,000118765	0,000126734
680	p-cresol	Água	kg	0,000115869	9,62262E-05	0,000115869	9,62262E-05
681	m-xileno	Água	kg	0,000113239	9,40474E-05	0,000113239	9,40478E-05
682	Decano	Água	kg	0,000108821	9,03732E-05	0,000108821	9,03732E-05
683	o-cresol	Água	kg	0,000107393	8,91874E-05	0,000107393	8,91874E-05
684	Fenol, 2,4-dimetil-	Água	kg	0,000104568	8,68412E-05	0,000104568	8,68412E-05
685	Vanádio	Água	kg	0,000101372	8,41873E-05	0,000101372	8,41873E-05
686	Etanol	Água	kg	9,61283E-05	9,78336E-05	9,60591E-05	0,000100795
687	Etano, 1,2-dicloro-	Água	kg	9,33881E-05	7,92753E-05	9,33847E-05	7,95049E-05
688	Tetradecano	Água	kg	9,0487E-05	7,51473E-05	9,0487E-05	7,51473E-05

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
689	Solventes clorados, não especificado	Água	kg	9,02804E-05	9,12496E-05	9,02757E-05	9,9081E-05
690	Acetaldeído	Água	kg	7,38046E-05	7,46429E-05	7,37496E-05	7,69982E-05
691	Naftaleno	Água	kg	6,80015E-05	5,64736E-05	6,80015E-05	5,64736E-05
692	Naftaleno, 2-metil-	Água	kg	5,91313E-05	4,91071E-05	5,91313E-05	4,91071E-05
693	Eicosano	Água	kg	5,68461E-05	4,72093E-05	5,68461E-05	4,72093E-05
694	Octadecano	Água	kg	5,56751E-05	4,62368E-05	5,56751E-05	4,62368E-05
695	Acetato de butila	Água	kg	4,55204E-05	4,68307E-05	4,54814E-05	4,85025E-05
696	Acetona	Água	kg	4,33612E-05	3,68083E-05	4,33612E-05	3,68093E-05
697	1-Butanol	Água	kg	3,50387E-05	3,60458E-05	3,50087E-05	3,73318E-05
698	Ítrio	Água	kg	2,51584E-05	2,08934E-05	2,51584E-05	2,08934E-05
699	2-Hexanona	Água	kg	2,4376E-05	2,02437E-05	2,4376E-05	2,02437E-05
700	Buteno	Água	kg	2,40532E-05	3,00405E-05	2,40338E-05	3,35775E-05
701	Formato	Água	kg	1,76989E-05	1,69774E-05	1,76988E-05	1,69806E-05
702	Benzeno, 1,2-dicloro-	Água	kg	1,64425E-05	1,67828E-05	1,64297E-05	1,7332E-05
703	4-Metil-2-pentanona	Água	kg	1,5692E-05	1,30322E-05	1,5692E-05	1,30323E-05
704	Acrilato, ion	Água	kg	1,26927E-05	1,3065E-05	1,26818E-05	1,35327E-05
705	Bifenil	Água	kg	1,07442E-05	8,92284E-06	1,07442E-05	8,92284E-06
706	Ácido nítrico	Água	kg	1,00061E-05	8,30984E-06	1,00061E-05	8,30984E-06
707	Óxido etileno	Água	kg	9,67796E-06	9,69488E-06	9,67282E-06	9,91506E-06
708	Fluorenos, alquilação, não especificado	Água	kg	9,61692E-06	7,98662E-06	9,61692E-06	7,98662E-06
709	Formato de sódio	Água	kg	7,3376E-06	6,24665E-06	7,3371E-06	6,27395E-06
710	Borato	Água	kg	5,02185E-06	4,3758E-06	5,02183E-06	4,37696E-06
711	Flúor	Água	kg	4,76491E-06	3,95715E-06	4,76491E-06	3,95715E-06
712	Eteno, cloro-	Água	kg	4,07484E-06	3,64596E-06	4,07386E-06	3,69135E-06
713	Docosano	Água	kg	3,99474E-06	3,31754E-06	3,99474E-06	3,31754E-06
714	Naftalenos, alquilação, não especificado	Água	kg	2,71925E-06	2,25827E-06	2,71925E-06	2,25827E-06
715	n-hexacosano	Água	kg	2,49222E-06	2,06973E-06	2,49222E-06	2,06973E-06
716	Disulfeto de carbono	Água	kg	2,28166E-06	1,90263E-06	2,28164E-06	1,90326E-06

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
717	Acenafteno	Água	kg	1,93781E-06	1,67356E-06	1,93762E-06	1,68222E-06
718	Etileno diamina	Água	kg	1,16716E-06	9,73728E-07	1,16715E-06	9,74072E-07
719	Fenantrenos, alquilação, não especificado	Água	kg	1,12751E-06	9,36373E-07	1,12751E-06	9,36373E-07
720	Fenantreno	Água	kg	9,9484E-07	8,26191E-07	9,9484E-07	8,26191E-07
721	Cloramina	Água	kg	8,79209E-07	7,67568E-07	8,79205E-07	7,6777E-07
722	Cloroformio	Água	kg	7,45203E-07	7,62163E-07	7,44592E-07	7,88299E-07
723	Dibenzofurano	Água	kg	7,09838E-07	5,89504E-07	7,09838E-07	5,89504E-07
724	Nitrobenzeno	Água	kg	6,68777E-07	5,94506E-07	6,68772E-07	5,94709E-07
725	Dimetilamina	Água	kg	6,21035E-07	5,94577E-07	6,21033E-07	5,94672E-07
726	Dibenzotiofeno	Água	kg	6,08281E-07	5,05163E-07	6,08281E-07	5,05163E-07
727	Fluoreno, 1-metil-	Água	kg	4,24867E-07	3,52842E-07	4,24867E-07	3,52842E-07
728	Benzeno, 1-metil-4-(1-metiletil)-	Água	kg	3,7305E-07	3,0981E-07	3,7305E-07	3,0981E-07
729	Ácidos, não especificado	Água	kg	3,29164E-07	2,73363E-07	3,29164E-07	2,73363E-07
730	Metil etil cetona	Água	kg	3,00513E-07	2,49569E-07	3,00513E-07	2,49569E-07
731	Anilina	Água	kg	2,84933E-07	2,52159E-07	2,84931E-07	2,52247E-07
732	Benzeno, pentametil-	Água	kg	2,79792E-07	2,32361E-07	2,79792E-07	2,32361E-07
733	Ácido clorossulfônico	Água	kg	2,20109E-07	2,12163E-07	2,20108E-07	2,12193E-07
734	Amônia, como N	Água	kg	1,6531E-07	1,37286E-07	1,6531E-07	1,37286E-07
735	1-Propanol	Água	kg	1,62618E-07	1,48568E-07	1,62617E-07	1,48599E-07
736	Metano, monocloro-, R-40	Água	kg	1,50262E-07	1,24789E-07	1,50262E-07	1,24789E-07
737	t-butilamina	Água	kg	1,37815E-07	1,32197E-07	1,37814E-07	1,32222E-07
738	Dietilamina	Água	kg	1,33838E-07	1,18998E-07	1,33837E-07	1,19038E-07
739	Etil acetato	Água	kg	1,32624E-07	1,17156E-07	1,32618E-07	1,17403E-07
740	Acenaftileno	Água	kg	1,21191E-07	1,04664E-07	1,21179E-07	1,05206E-07
741	Tolueno, 2-cloro-	Água	kg	1,20236E-07	1,08122E-07	1,20235E-07	1,08156E-07
742	2-Metil-1-propanol	Água	kg	1,15193E-07	1,00461E-07	1,15192E-07	1,00489E-07
743	Formamida	Água	kg	1,03678E-07	8,87395E-08	1,03678E-07	8,87648E-08
744	Uréia	Água	kg	1,00932E-07	8,71063E-08	1,00931E-07	8,71304E-08

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
745	Etilamina	Água	kg	9,88767E-08	8,81521E-08	9,8876E-08	8,81875E-08
746	Metil amina	Água	kg	8,83572E-08	8,67753E-08	8,83329E-08	8,78102E-08
747	Propanal	Água	kg	8,20629E-08	7,02386E-08	8,20625E-08	7,02586E-08
748	Butirolactona	Água	kg	7,75136E-08	7,96902E-08	7,74474E-08	8,25254E-08
749	Dipropilamina	Água	kg	7,52274E-08	6,61374E-08	7,52267E-08	6,61617E-08
750	Ácido propiônico	Água	kg	7,40734E-08	7,11425E-08	7,4073E-08	7,11578E-08
751	Acetonitrila	Água	kg	6,05292E-08	5,83441E-08	6,0529E-08	5,83524E-08
752	2-Propanol	Água	kg	6,03784E-08	5,69271E-08	6,0378E-08	5,69475E-08
753	Ácido láctico	Água	kg	5,89286E-08	5,1808E-08	5,89281E-08	5,18271E-08
754	1-Pentanol	Água	kg	5,66867E-08	4,85189E-08	5,66864E-08	4,85327E-08
755	1,4-Butanediol	Água	kg	5,50296E-08	5,58558E-08	5,49914E-08	5,74917E-08
756	Cloreto de acetil	Água	kg	4,45306E-08	3,81143E-08	4,45304E-08	3,81252E-08
757	1-Penteno	Água	kg	4,28368E-08	3,66646E-08	4,28365E-08	3,6675E-08
758	Propilamina	Água	kg	3,28319E-08	2,81012E-08	3,28317E-08	2,81093E-08
759	Ácido fórmico	Água	kg	3,00962E-08	2,57597E-08	3,00961E-08	2,57671E-08
760	Isopropilamina	Água	kg	2,61726E-08	2,46765E-08	2,61724E-08	2,46853E-08
761	Cloreto de cloroacetila	Água	kg	2,41256E-08	2,32035E-08	2,41255E-08	2,3207E-08
762	2-Aminopropanol	Água	kg	1,80899E-08	1,73985E-08	1,80898E-08	1,74011E-08
763	o-xileno	Água	kg	1,67672E-08	1,61019E-08	1,67593E-08	1,64335E-08
764	Íons metálicos, não especificado	Água	kg	1,54412E-08	1,28235E-08	1,54412E-08	1,28235E-08
765	Metil formato	Água	kg	1,39796E-08	1,35993E-08	1,39715E-08	1,39476E-08
766	Trimetilamina	Água	kg	1,25484E-08	1,20977E-08	1,25484E-08	1,20996E-08
767	Metil acetato	Água	kg	7,09031E-09	6,83569E-09	7,09029E-09	6,83673E-09
768	Nitrato compostos	Água	kg	4,46096E-09	3,70472E-09	4,46096E-09	3,70472E-09
769	Tar	Água	kg	2,52123E-10	2,09382E-10	2,52123E-10	2,09382E-10
770	Rádio-226/kg	Água	kg	1,34949E-10	1,12072E-10	1,34949E-10	1,12072E-10
771	2-Metil-2-buteno	Água	kg	9,50187E-12	8,13276E-12	9,50182E-12	8,13509E-12
772	Rádio-228/kg	Água	kg	6,90284E-13	5,73265E-13	6,90284E-13	5,73265E-13

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
773	Chumbo-210/kg	Água	kg	3,87889E-13	3,22133E-13	3,87889E-13	3,22133E-13
774	Calor, residuo	Solo	MJ	617,8175975	559,2436579	617,7952943	561,7268005
775	Óleos, não especificado	Solo	kg	19,68893626	17,05455787	19,68678028	17,15286513
776	Carbono	Solo	kg	9,686002591	9,40729295	9,685945165	9,410369979
777	Cálcio	Solo	kg	8,795393491	8,510768567	8,795312401	8,514359899
778	Ferro	Solo	kg	7,653995345	6,578494089	7,653791581	6,589212044
779	Cloreto	Solo	kg	3,073460216	2,780974322	3,073246069	2,790087599
780	Silício	Solo	kg	2,395882269	2,334009604	2,395878765	2,334425928
781	Potássio	Solo	kg	1,622203052	1,575925442	1,622195416	1,576276151
782	Magnésio	Solo	kg	1,047759855	1,00871556	1,047744107	1,009356062
783	Alumínio	Solo	kg	0,757395268	0,72241599	0,757375913	0,723222374
784	Óleos, biogênico	Solo	kg	0,719837895	0,69490075	0,719835571	0,695009815
785	Manganês	Solo	kg	0,581714415	0,566476732	0,581713286	0,566547289
786	Enxofre	Solo	kg	0,359089511	0,340462814	0,359077959	0,340978054
787	Sódio	Solo	kg	0,316458242	0,276608469	0,316417226	0,278094116
788	Fósforo	Solo	kg	0,289711499	0,281645552	0,289710371	0,281699884
789	Bário	Solo	kg	0,077118657	0,067234476	0,077109193	0,067571946
790	Zinco	Solo	kg	0,058112094	0,05584097	0,058111391	0,055876668
791	Titânio	Solo	kg	0,039709635	0,03871301	0,039709609	0,038715909
792	Fluoreto	Solo	kg	0,011142167	0,009796622	0,011141055	0,009847215
793	Cobre	Solo	kg	0,008615863	0,008094172	0,008615674	0,008113943
794	Cromo	Solo	kg	0,006507365	0,006254265	0,006507264	0,006258513
795	Metolachlor	Solo	kg	0,006153974	0,005933222	0,006153956	0,005934049
796	Cromo VI	Solo	kg	0,005068585	0,004540961	0,005068341	0,004565848
797	Glifosato	Solo	kg	0,003591118	0,003042712	0,003591026	0,003047402
798	Boro	Solo	kg	0,002440767	0,002149517	0,002440534	0,002160676
799	Chumbo	Solo	kg	0,002087423	0,002012282	0,002087413	0,002013261
800	Níquel	Solo	kg	0,001701047	0,001646198	0,001701032	0,001647076

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
801	Estrôncio	Solo	kg	0,001553581	0,001354289	0,00155339	0,001361049
802	Vanádio	Solo	kg	0,001136625	0,001108098	0,001136625	0,001108181
803	Linuron	Solo	kg	0,000850285	0,000819786	0,000850282	0,000819901
804	Mancozeb	Solo	kg	0,000677072	0,000563731	0,000677068	0,000563911
805	Clorotalonil	Solo	kg	0,000521307	0,000434041	0,000521304	0,000434179
806	Cobalto	Solo	kg	0,000518894	0,000505831	0,000518893	0,000505916
807	Cádmio	Solo	kg	0,000418426	0,000407782	0,000418424	0,000407897
808	Arsênio	Solo	kg	0,000255571	0,000242833	0,000255563	0,00024316
809	Orbencarb	Solo	kg	0,000128742	0,000107191	0,000128741	0,000107225
810	Aclonifen	Solo	kg	0,000110361	0,000106403	0,000110361	0,000106417
811	Molibdênio	Solo	kg	0,000107026	0,000104316	0,000107026	0,000104352
812	Bentazone	Solo	kg	5,63242E-05	5,43038E-05	5,63241E-05	5,43114E-05
813	Fenpiclonil	Solo	kg	2,43233E-05	2,07522E-05	2,43232E-05	2,07581E-05
814	Metribuzin	Solo	kg	2,384E-05	1,98492E-05	2,38399E-05	1,98555E-05
815	Carbetamida	Solo	kg	2,04633E-05	1,96597E-05	2,04633E-05	1,96626E-05
816	Tebutam	Solo	kg	1,67129E-05	1,59849E-05	1,67129E-05	1,59873E-05
817	Carbofurano	Solo	kg	9,21241E-06	7,96682E-06	9,21153E-06	7,99047E-06
818	Napropamida	Solo	kg	7,05314E-06	6,74591E-06	7,05312E-06	6,74691E-06
819	Pirimicarbe	Solo	kg	5,32783E-06	5,13671E-06	5,32781E-06	5,13743E-06
820	Metaldeído	Solo	kg	3,98657E-06	3,81292E-06	3,98656E-06	3,81348E-06
821	Mercúrio	Solo	kg	3,89222E-06	3,76187E-06	3,89221E-06	3,77038E-06
822	2,4-D	Solo	kg	2,64483E-06	2,2887E-06	2,64457E-06	2,2958E-06
823	Estanho	Solo	kg	2,41765E-06	2,25579E-06	2,41758E-06	2,37407E-06
824	Cipermetrina	Solo	kg	1,76077E-06	1,56486E-06	1,76065E-06	1,56827E-06
825	Teflubenzuron	Solo	kg	1,58936E-06	1,3233E-06	1,58935E-06	1,32373E-06
826	Aldrin	Solo	kg	1,37992E-07	1,42027E-07	1,37873E-07	1,47108E-07
827	Atrazina	Solo	kg	3,62009E-08	3,72594E-08	3,61698E-08	3,85925E-08
828	Antimônio	Solo	kg	3,51354E-08	3,24485E-08	3,5122E-08	3,2998E-08

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	Edificação II30	Edificação II50	Edificação IV30	Edificação IV50
829	Thiram	Solo	kg	2,9812E-08	2,57812E-08	2,98091E-08	2,58577E-08
830	Benomyl	Solo	kg	1,68038E-08	1,45317E-08	1,68022E-08	1,45749E-08
831	Ácido sulfúrico	Solo	kg	6,95351E-09	7,15751E-09	6,94753E-09	7,41371E-09

Fonte: adaptado do inventário do *software* SimaPro

Apêndice F – Planilhas de custos unitários e Custo do Ciclo de Vida

Concreto: fichas de composição do custo unitário

Composição do custo unitário					Referência: abril/2015	
03310.8.2 - Concreto estrutural dosado em central - f_{ck} 30 MPa					Total: R\$ 361,94	
					Unidade: m ³	
Componente	Consumo	Unidade	Preço unitário		Custo de material	Custo de mão de obra
			Material	Mão de obra		
Concreto dosado em central convencional - inclui serviço de bombeamento	1,05	m ³	344,70	-	361,94	0,00

Fonte: adaptado de TCPO (2008)

Composição do custo unitário					Referência: abril/2015	
03310.8.2 - Concreto estrutural dosado em central de alto desempenho - f_{ck} 50 MPa					Total: R\$ 518,74	
					Unidade: m ³	
Componente	Consumo	Unidade	Preço unitário		Custo de material	Custo de mão de obra
			Material	Mão de obra		
Concreto dosado em central de alto desempenho - inclui serviço de bombeamento	1,05	m ³	494,04	-	518,74	0,00

Fonte: adaptado de TCPO (2008)

Composição do custo unitário					Referência: abril/2015	
03310.8.13.1 - Transporte, lançamento, adensamento e acabamento do concreto em estrutura					Total: R\$ 66,58	
					Unidade: m ³	
Componente	Consumo	Unidade	Preço unitário		Custo de material	Custo de mão de obra
			Material	Mão de obra		
Pedreiro	1,65	h	-	5,55	0,00	9,16
Servente	4,50	h	-	4,29	0,00	19,31
Vibrador de imersão, elétrico, potência 1 HP (0,75 kW) - vida útil 20.000 h	0,20	h prod	1,43	-	0,29	0,00
Totais sem encargos					0,29	28,46
Encargos sociais	132,91	%	-	-	-	37,83
Totais com encargos					0,29	66,29

Fonte: adaptado de TCPO (2008)

Aço: fichas de composição do custo unitário

Composição do custo unitário					Referência: abril/2015	
03210.8.1.3 - Armadura de aço para estruturas em geral, CA-50, diâmetro 8,0 mm, corte e dobra na obra					Total: R\$ 8,14	
					Unidade: kg	
Componente	Consumo	Unidade	Preço unitário		Custo de material	Custo de mão de obra
			Material	Mão de obra		
Ajudante de armador	0,08	h	-	4,29	0,00	0,34
Armador	0,08	h	-	5,75	0,00	0,46
Espaçador circular de plástico para pilares, fundo e laterais de vigas, lajes, pisos e estacas (cobrimento: 30 mm)	11,40	un	0,09	-	1,05	0,00
Barra de aço CA-50 5/16" (bitola: 8,00 mm / massa linear: 0,395 kg/m)	1,10	kg	4,61	-	5,07	0,00
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	0,02	kg	7,47	-	0,15	0,00
Totais sem encargos					6,27	0,80
Encargos sociais	132,91	%	-	-	-	1,07
Totais com encargos					6,27	1,87

Fonte: adaptado de TCPO (2008)

Composição do custo unitário					Referência: abril/2015	
03210.8.1.5 - Armadura de aço para estruturas em geral, CA-50, diâmetro 20,0 mm, corte e dobra na obra					Total: R\$ 6,57	
					Unidade: kg	
Componente	Consumo	Unidade	Preço unitário		Custo de material	Custo de mão de obra
			Material	Mão de obra		
Ajudante de armador	0,10	h	-	4,29	0,00	0,43
Armador	0,10	h	-	5,75	0,00	0,58
Espaçador circular de plástico para pilares, fundo e laterais de vigas, lajes, pisos e estacas (cobrimento: 30 mm)	1,82	un	0,09	-	0,17	0,00
Barra de aço CA-50 3/4" (bitola: 20,00 mm / massa linear: 2,466 kg/m)	1,10	kg	3,49	-	3,84	0,00
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	0,03	kg	7,47	-	0,22	0,00
Totais sem encargos					4,23	1,00
Encargos sociais	132,91	%	-	-	-	1,33
Totais com encargos					4,23	2,34

Fonte: adaptado de TCPO (2008)

Composição de custo unitário					Referência: abril/2015	
03210.8.1.6 - Armadura de aço para estruturas em geral, CA-60, diâmetro 5,0 mm, corte e dobra na obra					Total: 8,75	
					Unidade: kg	
Componente	Unidade	Consumo	Preço unitário		Custo de material	Custo de mão de obra
			Material	Mão de obra		
Ajudante de armador	0,07	h	-	4,29	0,00	0,30
Armador	0,07	h	-	5,75	0,00	0,40
Espaçador circular de plástico para pilares, fundo e laterais de vigas, lajes, pisos e estacas (cobrimento: 30 mm)	29,20	un	0,09	-	2,69	0,00
Barra de aço CA-60 3/4" (bitola: 5,00 mm / massa linear: 0,154 kg/m)	1,10	kg	3,89	-	4,28	0,00
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	0,02	kg	7,47	-	0,15	0,00
Totais sem encargos					7,11	0,70
Encargos sociais	132,91	%	-	-	-	0,93
Totais com encargos					7,11	1,64

Fonte: adaptado de TCPO (2008)

Formas: fichas de composição do custo unitário

Pavimentos-tipo

Composição do custo unitário					Referência: abril/2015	
03110.8.2 - Forma com chapa compensada resinada, e = 12 mm, para pilares/vigas/lajes, incluso contraventamentos/escoramentos com pontaletes 7,5 cm x 7,5 cm					Total: R\$ 26,04	
					Unidade: m ²	
Componente	Consumo 5 aprov.	Unidade	Preço unitário		Custo de material	Custo de mão de obra
			Material	Mão de obra		
Ajudante de carpinteiro	0,204	h	-	4,29	0,00	0,88
Carpinteiro	0,816	h	-	5,78	0,00	4,72
Chapa compensada resinada (espessura = 12,00 mm)	0,25	m ²	16,85	-	4,21	0,00
Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	0,04	kg	8,11	-	0,32	0,00
Pontalete 3" x 3" (altura: 75,00 mm / largura: 75,00 mm)	1,20	m	3,82	-	4,58	0,00
Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	1,65	m	0,64	-	1,06	0,00
Tábua 1" x 8" (espessura: 25 mm / largura: 200 mm)	0,104	m	7,61	-	0,79	0,00
Tábua 1" x 6" (espessura: 25 mm / largura: 150 mm)	0,10	m	7,61	-	0,76	0,00
Desmoldante de formas para concreto	0,02	l	4,56	-	0,09	0,00
Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	0,10	kg	7,63	-	0,76	0,00
Prego 15 x 15 com cabeça (comprimento: 34,5 mm / diâmetro da cabeça: 2,4 mm)	0,05	kg	8,73	-	0,44	0,00
Totais sem encargos					13,02	5,59
Encargos sociais	132,91	%	-	-	-	7,43
Totais com encargos					13,02	13,02

Fonte: adaptado de TCPO (2008)

Formas: fichas de composição do custo unitário

Pavimentos térreo, subsolo, cobertura, base reservatório e cobertura reservatório

Composição do custo unitário					Referência: abril/2015	
03110.8.2 - Forma com chapa compensada resinada, e = 12 mm, para pilares/vigas/lajes, incluso contraventamentos/escoramentos com pontaletes 7,5 cm x 7,5 cm					Total: R\$ 36,40	
					Unidade: m ²	
Componente	Consumo 3 aprov.	Unidade	Preço unitário		Custo de material	Custo de mão de obra
			Material	Mão de obra		
Ajudante de carpinteiro	0,244	h	-	4,29	0,00	1,05
Carpinteiro	0,976	h	-	5,78	0,00	5,64
Chapa compensada resinada (espessura = 12,00 mm)	0,416	m ²	16,85	-	7,01	0,00
Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	0,067	kg	8,11	-	0,54	0,00
Pontalete 3" x 3" (altura: 75,00 mm / largura: 75,00 mm)	1,998	m	3,82	-	7,63	0,00
Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	2,747	m	0,64	-	1,76	0,00
Tábua 1" x 8" (espessura: 25 mm / largura: 200 mm)	0,173	m	7,61	-	1,32	0,00
Tábua 1" x 6" (espessura: 25 mm / largura: 150 mm)	0,167	m	7,61	-	1,27	0,00
Desmoldante de formas para concreto	0,02	l	4,56	-	0,09	0,00
Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	0,10	kg	7,63	-	0,76	0,00
Prego 15 x 15 com cabeça (comprimento: 34,5 mm / diâmetro da cabeça: 2,4 mm)	0,05	kg	8,73	-	0,44	0,00
Totais sem encargos					20,82	6,69
Encargos sociais	132,91	%	-	-	-	8,89
Totais com encargos					20,82	15,58

Fonte: adaptado de TCPO (2008)

Custo do Ciclo de Vida

Traço II30

Custo do Ciclo de Vida						
Vigas CP II-Z 30 MPa						
Item	Descrição	Quantitativo	Unidade	Custo unitário	Custo do serviço	Subtotal
1	Concreto					
1.1	Classe C30	92,6	m³	R\$ 428,51	R\$ 39.680,30	
						R\$ 39.680,30
						R\$ 41.664,32
2	Aço					
2.1	CA-50 (8 mm)	7242,8	kg	R\$ 8,14	R\$ 58.955,11	
2.2	CA-50 (20 mm)	4846,5	kg	R\$ 6,57	R\$ 31.836,05	
2.3	CA-60 (5 mm)	1674,9	kg	R\$ 8,75	R\$ 14.657,73	
						R\$ 105.448,88
3	Formas					
3.1	Pavimento tipo	934,9	m²	R\$ 26,04	R\$ 24.347,42	
3.2	Pavimento térreo	454,6	m²	R\$ 36,40	R\$ 16.546,27	
						R\$ 40.893,69
Total						R\$ 188.006,88

Custo do Ciclo de Vida						
Pilares CP II-Z 30 MPa						
Item	Descrição	Quantitativo	Unidade	Custo unitário	Custo do serviço	Subtotal
1	Concreto					
1.1	Classe C30	36,4	m³	R\$ 428,51	R\$ 15.597,87	
						R\$ 15.597,87
						R\$ 16.377,77
2	Aço					
2.1	CA-50 (8 mm)	4909,3	kg	R\$ 8,14	R\$ 39.960,51	
2.2	CA-50 (20 mm)	4838,4	kg	R\$ 6,57	R\$ 31.782,90	
2.3	CA-60 (5 mm)	862,4	kg	R\$ 8,75	R\$ 7.546,85	
						R\$ 79.290,26
3	Formas					
3.1	Pavimento tipo	356,3	m²	R\$ 26,04	R\$ 9.279,05	
3.2	Pavimento térreo	210,7	m²	R\$ 36,40	R\$ 7.668,94	
						R\$ 16.947,99
Total						R\$ 112.616,01

Custo do Ciclo de Vida						
Lajes CP II-Z 30 MPa						
Item	Descrição	Quantitativo	Unidade	Custo unitário	Custo do serviço	Subtotal
1	Concreto					
1.1	Classe C30	157,9	m³	R\$ 428,51	R\$ 67.662,20	
						R\$ 67.662,20
						R\$ 71.045,31
2	Aço					
2.1	CA-50 (8 mm)	7413,3	kg	R\$ 8,14	R\$ 60.342,57	
2.2	CA-50 (20 mm)	0,0	kg	R\$ 6,57	R\$ 0,00	
2.3	CA-60 (5 mm)	796,7	kg	R\$ 8,75	R\$ 6.972,44	
						R\$ 67.315,02
3	Formas					
3.1	Pavimento tipo	948,7	m²	R\$ 26,04	R\$ 24.706,81	
3.2	Pavimento térreo	653,7	m²	R\$ 36,40	R\$ 23.792,99	
						R\$ 48.499,80
Total						R\$ 186.860,13

Custo do Ciclo de Vida						
Escadas CP II-Z 30 MPa						
Item	Descrição	Quantitativo	Unidade	Custo unitário	Custo do serviço	Subtotal
1	Concreto					
1.1	Classe C30	10,4	m³	R\$ 428,51	R\$ 4.456,54	
						R\$ 4.456,54
						R\$ 4.679,36
2	Aço					
2.1	CA-50 (8 mm)	553,2	kg	R\$ 8,14	R\$ 4.502,79	
2.2	CA-50 (20 mm)	0,0	kg	R\$ 6,57	R\$ 0,00	
2.3	CA-60 (5 mm)	74,9	kg	R\$ 8,75	R\$ 655,56	
						R\$ 5.158,35
3	Formas					
3.1	Pavimento tipo	90,0	m²	R\$ 26,04	R\$ 2.343,85	
3.2	Pavimento térreo	30,0	m²	R\$ 36,40	R\$ 1.091,92	
						R\$ 3.435,78
Total						R\$ 13.273,48

Custo do Ciclo de Vida			
Edificação CP II-Z 30 MPa			
Item	Descrição	Custo do serviço	Subtotal
1	Concreto		
1.1	Vigas	R\$ 41.664,32	
1.2	Pilares	R\$ 16.377,77	
1.3	Lajes	R\$ 71.045,31	
1.4	Escadas	R\$ 4.679,36	
			R\$ 133.766,76
2	Aço		
2.1	Vigas	R\$ 105.448,88	
2.2	Pilares	R\$ 79.290,26	
2.3	Lajes	R\$ 67.315,02	
2.4	Escadas	R\$ 5.158,35	
			R\$ 257.212,50
3	Formas		
3.1	Vigas	R\$ 40.893,69	
3.2	Pilares	R\$ 16.947,99	
3.3	Lajes	R\$ 48.499,80	
3.4	Escadas	R\$ 3.435,78	
			R\$ 109.777,25
Total			R\$ 500.756,52

Custo do Ciclo de Vida

Traço II50

Custo do Ciclo de Vida						
Vigas CP II-Z 50 MPa						
Item	Descrição	Quantitativo	Unidade	Custo unitário	Custo do serviço	Subtotal
1	Concreto					
1.1	Classe C50	89,4	m³	R\$ 585,32	R\$ 52.327,61	
						R\$ 52.327,61
						R\$ 54.943,99
2	Aço					
2.1	CA-50 (8 mm)	6307,2	kg	R\$ 8,14	R\$ 51.339,21	
2.2	CA-50 (20 mm)	4429,5	kg	R\$ 6,57	R\$ 29.097,40	
2.3	CA-60 (5 mm)	1619,3	kg	R\$ 8,75	R\$ 14.170,83	
						R\$ 94.607,44
3	Formas					
3.1	Pavimento tipo	910,4	m²	R\$ 26,04	R\$ 23.709,37	
3.2	Pavimento térreo	443,1	m²	R\$ 36,40	R\$ 16.127,70	
						R\$ 39.837,07
Total						R\$ 189.388,50

Custo do Ciclo de Vida						
Pilares CP II-Z 50 MPa						
Item	Descrição	Quantitativo	Unidade	Custo unitário	Custo do serviço	Subtotal
1	Concreto					
1.1	Classe C50	32,4	m³	R\$ 585,32	R\$ 18.964,37	
						R\$ 18.964,37
						R\$ 19.912,59
2	Aço					
2.1	CA-50 (8 mm)	3804,4	kg	R\$ 8,14	R\$ 30.966,77	
2.2	CA-50 (20 mm)	2281,5	kg	R\$ 6,57	R\$ 14.986,73	
2.3	CA-60 (5 mm)	813,3	kg	R\$ 8,75	R\$ 7.117,24	
						R\$ 53.070,73
3	Formas					
3.1	Pavimento tipo	331,0	m²	R\$ 26,04	R\$ 8.620,17	
3.2	Pavimento térreo	195,9	m²	R\$ 36,40	R\$ 7.130,25	
						R\$ 15.750,42
Total						R\$ 88.733,74

Custo do Ciclo de Vida						
Lajes CP II-Z 50 MPa						
Item	Descrição	Quantitativo	Unidade	Custo unitário	Custo do serviço	Subtotal
1	Concreto					
1.1	Classe C50	157,7	m³	R\$ 585,32	R\$ 92.304,97	
						R\$ 92.304,97
						R\$ 96.920,21
2	Aço					
2.1	CA-50 (8 mm)	7298,2	kg	R\$ 8,14	R\$ 59.405,76	
2.2	CA-50 (20 mm)	0,0	kg	R\$ 6,57	R\$ 0,00	
2.3	CA-60 (5 mm)	521,1	kg	R\$ 8,75	R\$ 4.560,25	
						R\$ 63.966,01
3	Formas					
3.1	Pavimento tipo	948,9	m²	R\$ 26,04	R\$ 24.712,02	
3.2	Pavimento térreo	653,3	m²	R\$ 36,40	R\$ 23.778,43	
						R\$ 48.490,45
Total						R\$ 209.376,67

Custo do Ciclo de Vida						
Escadas CP II-Z 50 MPa						
Item	Descrição	Quantitativo	Unidade	Custo unitário	Custo do serviço	Subtotal
1	Concreto					
1.1	Classe C50	10,4	m³	R\$ 585,32	R\$ 6.087,33	
						R\$ 6.087,33
						R\$ 6.391,69
2	Aço					
2.1	CA-50 (8 mm)	506,9	kg	R\$ 8,14	R\$ 4.126,14	
2.2	CA-50 (20 mm)	0,0	kg	R\$ 6,57	R\$ 0,00	
2.3	CA-60 (5 mm)	0,7	kg	R\$ 8,75	R\$ 6,36	
						R\$ 4.132,50
3	Formas					
3.1	Pavimento tipo	90,0	m²	R\$ 26,04	R\$ 2.343,85	
3.2	Pavimento térreo	30,0	m²	R\$ 36,40	R\$ 1.091,92	
						R\$ 3.435,78
Total						R\$ 13.959,97

Custo do Ciclo de Vida			
Edificação CP II-Z 50 MPa			
Item	Descrição	Custo do serviço	Subtotal
1	Concreto		
1.1	Vigas	R\$ 54.943,99	
1.2	Pilares	R\$ 19.912,59	
1.3	Lajes	R\$ 96.920,21	
1.4	Escadas	R\$ 6.391,69	
			R\$ 178.168,48
2	Aço		
2.1	Vigas	R\$ 94.607,44	
2.2	Pilares	R\$ 53.070,73	
2.3	Lajes	R\$ 63.966,01	
2.4	Escadas	R\$ 4.132,50	
			R\$ 215.776,69
3	Formas		
3.1	Vigas	R\$ 39.837,07	
3.2	Pilares	R\$ 15.750,42	
3.3	Lajes	R\$ 48.490,45	
3.4	Escadas	R\$ 3.435,78	
			R\$ 107.513,72
Custo do Ciclo de Vida			R\$ 501.458,89

Custo do Ciclo de Vida

Traço IV30

Custo do Ciclo de Vida						
Vigas CP IV 30 MPa						
Item	Descrição	Quantitativo	Unidade	Custo unitário	Custo do serviço	Subtotal
1	Concreto					
1.1	Classe C30	92,6	m ³	R\$ 428,51	R\$ 39.680,30	
						R\$ 39.680,30
2	Aço					
2.1	CA-50 (8 mm)	7242,8	kg	R\$ 8,14	R\$ 58.955,11	
2.2	CA-50 (20 mm)	4846,5	kg	R\$ 6,57	R\$ 31.836,05	
2.3	CA-60 (5 mm)	1674,9	kg	R\$ 8,75	R\$ 14.657,73	
						R\$ 105.448,88
3	Formas					
3.1	Pavimento tipo	934,9	m ²	R\$ 26,04	R\$ 24.347,42	
3.2	Pavimento térreo	454,6	m ²	R\$ 36,40	R\$ 16.546,27	
						R\$ 40.893,69
Total						R\$ 186.022,87
Custo do Ciclo de Vida						
Pilares CP IV 30 MPa						
Item	Descrição	Quantitativo	Unidade	Custo unitário	Custo do serviço	Subtotal
1	Concreto					
1.1	Classe C30	36,4	m ³	R\$ 428,51	R\$ 15.597,87	
						R\$ 15.597,87
2	Aço					
2.1	CA-50 (8 mm)	4909,3	kg	R\$ 8,14	R\$ 39.960,51	
2.2	CA-50 (20 mm)	4838,4	kg	R\$ 6,57	R\$ 31.782,90	
2.3	CA-60 (5 mm)	862,4	kg	R\$ 8,75	R\$ 7.546,85	
						R\$ 79.290,26
3	Formas					
3.1	Pavimento tipo	356,3	m ²	R\$ 26,04	R\$ 9.279,05	
3.2	Pavimento térreo	210,7	m ²	R\$ 36,40	R\$ 7.668,94	
						R\$ 16.947,99
Total						R\$ 111.836,12
Custo do Ciclo de Vida						
Lajes CP IV 30 MPa						
Item	Descrição	Quantitativo	Unidade	Custo unitário	Custo do serviço	Subtotal
1	Concreto					
1.1	Classe C30	157,9	m ³	R\$ 428,51	R\$ 67.662,20	
						R\$ 67.662,20
2	Aço					
2.1	CA-50 (8 mm)	7413,3	kg	R\$ 8,14	R\$ 60.342,57	
2.2	CA-50 (20 mm)	0,0	kg	R\$ 6,57	R\$ 0,00	
2.3	CA-60 (5 mm)	796,7	kg	R\$ 8,75	R\$ 6.972,44	
						R\$ 67.315,02
3	Formas					
3.1	Pavimento tipo	948,7	m ²	R\$ 26,04	R\$ 24.706,81	
3.2	Pavimento térreo	653,7	m ²	R\$ 36,40	R\$ 23.792,99	
						R\$ 48.499,80
Total						R\$ 183.477,02

Custo do Ciclo de Vida						
Escadas CP IV 30 MPa						
Item	Descrição	Quantitativo	Unidade	Custo unitário	Custo do serviço	Subtotal
1	Concreto					
1.1	Classe C30	10,4	m³	R\$ 428,51	R\$ 4.456,54	
						R\$ 4.456,54
2	Aço					
2.1	CA-50 (8 mm)	553,2	kg	R\$ 8,14	R\$ 4.502,79	
2.2	CA-50 (20 mm)	0,0	kg	R\$ 6,57	R\$ 0,00	
2.3	CA-60 (5 mm)	74,9	kg	R\$ 8,75	R\$ 655,56	
						R\$ 5.158,35
3	Formas					
3.1	Pavimento tipo	90,0	m²	R\$ 26,04	R\$ 2.343,85	
3.2	Pavimento térreo	30,0	m²	R\$ 36,40	R\$ 1.091,92	
						R\$ 3.435,78
Total						R\$ 13.050,66

Custo do Ciclo de Vida			
Edificação CP IV 30 MPa			
Item	Descrição	Custo do serviço	Subtotal
1	Concreto		
1.1	Vigas	R\$ 39.680,30	
1.2	Pilares	R\$ 15.597,87	
1.3	Lajes	R\$ 67.662,20	
1.4	Escadas	R\$ 4.456,54	
			R\$ 127.396,92
2	Aço		
2.1	Vigas	R\$ 105.448,88	
2.2	Pilares	R\$ 79.290,26	
2.3	Lajes	R\$ 67.315,02	
2.4	Escadas	R\$ 5.158,35	
			R\$ 257.212,50
3	Formas		
3.1	Vigas	R\$ 40.893,69	
3.2	Pilares	R\$ 16.947,99	
3.3	Lajes	R\$ 48.499,80	
3.4	Escadas	R\$ 3.435,78	
			R\$ 109.777,25
Total			R\$ 494.386,67

Custo do Ciclo de Vida

Traço IV50

Custo do Ciclo de Vida						
Vigas CP IV 50 MPa						
Item	Descrição	Quantitativo	Unidade	Custo unitário	Custo do serviço	Subtotal
1	Concreto					
1.1	Classe C50	89,4	m ³	R\$ 585,32	R\$ 52.327,61	
						R\$ 52.327,61
2	Aço					
2.1	CA-50 (8 mm)	6307,2	kg	R\$ 8,14	R\$ 51.339,21	
2.2	CA-50 (20 mm)	4429,5	kg	R\$ 6,57	R\$ 29.097,40	
2.3	CA-60 (5 mm)	1619,3	kg	R\$ 8,75	R\$ 14.170,83	
						R\$ 94.607,44
3	Formas					
3.1	Pavimento tipo	910,4	m ²	R\$ 26,04	R\$ 23.709,37	
3.2	Pavimento térreo	443,1	m ²	R\$ 36,40	R\$ 16.127,70	
						R\$ 39.837,07
Total						R\$ 186.772,12
Custo do Ciclo de Vida						
Pilares CP IV 50 MPa						
Item	Descrição	Quantitativo	Unidade	Custo unitário	Custo do serviço	Subtotal
1	Concreto					
1.1	Classe C50	32,4	m ³	R\$ 585,32	R\$ 18.964,37	
						R\$ 18.964,37
2	Aço					
2.1	CA-50 (8 mm)	3804,4	kg	R\$ 8,14	R\$ 30.966,77	
2.2	CA-50 (20 mm)	2281,5	kg	R\$ 6,57	R\$ 14.986,73	
2.3	CA-60 (5 mm)	813,3	kg	R\$ 8,75	R\$ 7.117,24	
						R\$ 53.070,73
3	Formas					
3.1	Pavimento tipo	331,0	m ²	R\$ 26,04	R\$ 8.620,17	
3.2	Pavimento térreo	195,9	m ²	R\$ 36,40	R\$ 7.130,25	
						R\$ 15.750,42
Total						R\$ 87.785,53
Custo do Ciclo de Vida						
Lajes CP IV 50 MPa						
Item	Descrição	Quantitativo	Unidade	Custo unitário	Custo do serviço	Subtotal
1	Concreto					
1.1	Classe C50	157,7	m ³	R\$ 585,32	R\$ 92.304,97	
						R\$ 92.304,97
2	Aço					
2.1	CA-50 (8 mm)	7298,2	kg	R\$ 8,14	R\$ 59.405,76	
2.2	CA-50 (20 mm)	0,0	kg	R\$ 6,57	R\$ 0,00	
2.3	CA-60 (5 mm)	521,1	kg	R\$ 8,75	R\$ 4.560,25	
						R\$ 63.966,01
3	Formas					
3.1	Pavimento tipo	948,9	m ²	R\$ 26,04	R\$ 24.712,02	
3.2	Pavimento térreo	653,3	m ²	R\$ 36,40	R\$ 23.778,43	
						R\$ 48.490,45
Total						R\$ 204.761,43

Custo do Ciclo de Vida						
Escadas CP IV 50 MPa						
Item	Descrição	Quantitativo	Unidade	Custo unitário	Custo do serviço	Subtotal
1	Concreto					
1.1	Classe C50	10,4	m³	R\$ 585,32	R\$ 6.087,33	
						R\$ 6.087,33
2	Aço					
2.1	CA-50 (8 mm)	506,9	kg	R\$ 8,14	R\$ 4.126,14	
2.2	CA-50 (20 mm)	0,0	kg	R\$ 6,57	R\$ 0,00	
2.3	CA-60 (5 mm)	0,7	kg	R\$ 8,75	R\$ 6,36	
						R\$ 4.132,50
3	Formas					
3.1	Pavimento tipo	90,0	m²	R\$ 26,04	R\$ 2.343,85	
3.2	Pavimento térreo	30,0	m²	R\$ 36,40	R\$ 1.091,92	
						R\$ 3.435,78
Total						R\$ 13.655,61

Custo do Ciclo de Vida			
Edificação CP IV 50 MPa			
Item	Descrição	Custo do serviço	Subtotal
1	Concreto		
1.1	Vigas	R\$ 52.327,61	
1.2	Pilares	R\$ 18.964,37	
1.3	Lajes	R\$ 92.304,97	
1.4	Escadas	R\$ 6.087,33	
			R\$ 169.684,27
2	Aço		
2.1	Vigas	R\$ 94.607,44	
2.2	Pilares	R\$ 53.070,73	
2.3	Lajes	R\$ 63.966,01	
2.4	Escadas	R\$ 4.132,50	
			R\$ 215.776,69
3	Formas		
3.1	Vigas	R\$ 39.837,07	
3.2	Pilares	R\$ 15.750,42	
3.3	Lajes	R\$ 48.490,45	
3.4	Escadas	R\$ 3.435,78	
			R\$ 107.513,72
Total			R\$ 492.974,68