

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

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E DE CUSTO DE  
PILAR COM DIFERENTES TRAÇOS DE CONCRETO  
FRENTE A CARBONATAÇÃO: DO BERÇO AO  
TÚMULO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Lucas Alves Lamberti**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2015**



# **ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E DE CUSTO DE PILAR COM DIFERENTES TRAÇOS DE CONCRETO FRENTE A CARBONATAÇÃO: DO BERÇO AO TÚMULO**

**Lucas Alves Lamberti**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGEC), na 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**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2015**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Lamberti, Lucas Alves  
ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E DE CUSTO DE PILAR COM  
DIFERENTES TRAÇOS DE CONCRETO FRENTE A CARBONATAÇÃO: DO  
BERÇO AO TÚMULO / Lucas Alves Lamberti.-2015.  
186 p.; 30cm

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

1. concreto 2. carbonatação 3. análise do ciclo de  
vida 4. custo do ciclo de vida 5. sustentabilidade I.  
Isaia, Geraldo Cechella II. Título.

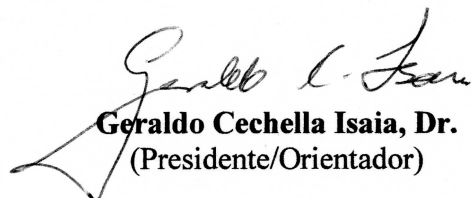
**Universidade Federal de Santa Maria**  
**Centro de Tecnologia**  
**Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental**

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


elaborada por  
**Lucas Alves Lamberti**

Como requisito para a obtenção de grau de  
**Mestre em Engenharia Civil**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

  
**Geraldo Cechella Isaia, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

  
**Larissa Degliuomini Kirchhof, Dr<sup>a</sup> (UFSM)**

  
**Ana Carolina Badalotti Passuello, Dr<sup>a</sup>. (UFRGS)**

Santa Maria, 26 de fevereiro de 2015



## RESUMO

Projeto de Dissertação  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental  
Universidade Federal de Santa Maria

### ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E DE CUSTO DE PILAR COM DIFERENTES TRAÇOS DE CONCRETO FRENTE A CARBONATAÇÃO: DO BERÇO AO TÚMULO

AUTOR: LUCAS ALVES LAMBERTI  
ORIENTADOR: GERALDO CEHELLA ISAIA  
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 26 de fevereiro de 2015.

O concreto é o principal destaque na indústria da construção, em termos de volume e demanda de recursos naturais para sua produção. É preciso buscar sua sustentabilidade, através de pesquisas que auxiliem na atualização da indústria. Estudos com esta finalidade vêm ganhando espaço nas diferentes áreas, e explorando informações importantes para o conhecimento humano. Além da avaliação ambiental, torna-se interessante a aplicação de aspectos econômicos. Esta pesquisa busca avaliar quantitativamente a sustentabilidade do concreto estrutural através de ensaio de durabilidade à carbonatação em laboratório utilizando Análise do Ciclo de Vida modular (ACV-m) por meio do programa computacional SimaPro e do Custo do Ciclo de Vida (CCV). Avaliou-se a sustentabilidade de um pilar de concreto armado de uma edificação padrão da região de Santa Maria, RS – Brasil, variando-se o tipo de cimento (CPII-Z, CPIV e CPV-ARI) e níveis de resistência característica à compressão ( $f_{ck}$  30 e 50 MPa), desde as fases de produção, de uso, de manutenção e de desconstrução/reciclagem desta unidade funcional estrutural (período compreendido entre *berço* e o *túmulo*). Sua vida útil foi estimada pela análise dos coeficientes de carbonatação, por meio dos métodos natural e acelerado. Concluiu-se que o acréscimo da resistência do concreto de 30 para 50 MPa é favorável em todos os fatores estudados. A variação do cimento foi decisiva para  $f_{ck} = 30$  MPa, pois a vida útil de projeto mínima por norma não foi atingida com CPIV e CPV-ARI. O cimento CPII-Z obteve os melhores resultados.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade do concreto, carbonatação, análise do ciclo de vida, custo do ciclo de vida





## **ABSTRACT**

Master Thesis  
Professional Graduation Program in Civil and Environmental Engineering  
Universidade Federal de Santa Maria

### **CYCLE ANALYSIS LIFE AND COST OF PILLAR WITH DIFERENT CONCRETE MIXTURES FRONT THE CARBONATION – FROM CRADLE TO GRAVE**

AUTHOR: LUCAS ALVES LAMBERTI

ADSIVER: GERALDO CEHELLA ISAIA

Defense Place and Date: Santa Maria, February 26<sup>th</sup>, 2015.

The concrete is the principal featured in the construction industry, in terms of volume and demand of natural resources for its production. It is need to seek sustainability through researches to assist in the upgrade industry. Studies for this purpose have been gaining ground in different areas, and exploring important information to human knowledge. Besides the environmental assessment, it is interesting to apply economic aspects. This research seeks to assess the sustainability of structural concrete by durability testing of carbonation in the laboratory and analyzing the modular Life Cycle Assessment (LCA - m) through the computer program SimaPro and Life Cycle Costs Analysis (LCCA). Evaluated the sustainability assessment of a reinforced concrete pillar of a standard building in Santa Maria region, RS - Brazil, ranging from the cement type (CPII - Z, CPIV and CPV-ARI) and characteristic strength levels ( $f_{ck}$  30 and 50 MPa), since the phases of production, use, maintenance and deconstruction/recycling of this functional unit (period between *cradle-to-gate*). It is useful life was estimate by the analysis of carbonation coefficients, by natural and accelerated methods. It was conclude that the increase in concrete strength from 30 to 50 MPa is favorable in all the studied factors. The cement variation was decisive for  $f_{ck} = 30$  MPa, for the life of the project for minimum standard was not met with CPIV and CPV-ARI. The cement CPII-Z achieved the best results.

**Key words:** Sustainability of concrete, carbonation, life cycle assessment, life cycle costs analysis



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Efeito estufa no planeta.....	27
Figura 2 - Emissões globais de gases de efeito estufa por fonte .....	28
Figura 3 - Meta nacional para redução de emissões de gases de efeito estufa .....	30
Figura 4 – Etapas da metodologia Análise do Ciclo de Vida .....	33
Figura 5 - Variação das emissões de CO <sub>2</sub> em diferentes cimentos Portland.....	39
Figura 6 - CCV diante da relação entre custo de construção e manutenção .....	41
Figura 7 - Vida útil das estruturas de concreto sem manutenção, com ação de corrosão .....	44
Figura 8 - Variação do desempenho de uma estrutura de concreto armado ao longo do tempo .....	46
Figura 9 - Imagens por microscopia eletrônica de varredura de C-S-H carbonatado .....	50
Figura 10 - Representação do concreto com poros secos.....	51
Figura 11 - Representação de poros totalmente saturados .....	52
Figura 12 - Concreto com UR normal do ambiente .....	52
Figura 13 - Relação entre resultados de ensaio de carbonatação acelerado e natural .....	56
Figura 14 - Concreto carbonatado com fnoftaleína.....	56
Figura 15 - Frente de carbonatação conforme pH .....	57
Figura 16 - Profundidade de carbonatação ao variar relação a/c.....	58
Figura 17 – Sistema de produto e fronteiras do sistema.....	63
Figura 18 - Análise granulométrica dos cimentos .....	67
Figura 19 – Curva granulométrica do agregado miúdo .....	68
Figura 20 – Curva granulométrica do agregado graúdo .....	69
Figura 21 - Curvas de Abrams para os três cimentos .....	72
Figura 22 – Medição da profundidade carbonatada pela digitalização de imagem.....	74
Figura 23 - Profundidades de carbonatação acelerada e linhas de tendência .....	86
Figura 24 - Profundidades de carbonatação natural e linhas de tendência .....	89
Figura 25 - Relação do custo pela resistência aos 28 dias e vida útil.....	91
Figura 26 – Impactos sobre a saúde humana, ecossistemas e recursos naturais .....	92
Figura 27 – Ponderação de mudanças climáticas para cada alternativa de pilar.....	95
Figura 28 – Ponderação de utilização de recursos naturais para cada alternativa de pilar .....	95
Figura 29 – Ponderação de consumo de energia para as alternativas de pilar.....	96
Figura 30 – Ponderação de geração de resíduos para as alternativas de pilar .....	97
Figura 31 – Ponderação de consumo de água para as alternativas de pilar.....	98



Figura 32 – Impactos individuais unitários .....	100
Figura 33 – Pórtico 3D da estrutura de concreto armado .....	114
Figura 34 – Planta baixa do térreo do edifício fictício e posição do pilar analisado .....	114
Figura 35 – Dimensionamento do pilar para a resistência característica de 50 MPa .....	115
Figura 36 – Corte vertical e momentos fletores aplicados .....	116
Figura 37 – Detalhamento geral do dimensionamento para $f_{ck} = 30$ MPa .....	116



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Diferenças entre a ACV e CCV .....	33
Tabela 2 - Emissões de CO <sub>2</sub> de componentes do concreto em estudo na Dinamarca.....	38
Tabela 3 - Siglas adotadas para os traços estudados .....	63
Tabela 4 - Esforços solicitantes e definições de projeto.....	64
Tabela 5 - Dimensionamento e consumo de materiais .....	64
Tabela 6 - Caracterização química dos cimentos (% em massa).....	65
Tabela 7 - Caracterização física dos cimentos.....	66
Tabela 8 - Características físicas dos agregados .....	68
Tabela 9 - Características dos aditivos redutores de água .....	70
Tabela 10 - Traços estudados, abatimento e resistências à compressão axial aos 28 dias .....	71
Tabela 11 – Traços unitários definitivos, consumo de cimento por m <sup>3</sup> e aditivo.....	72
Tabela 12 – Quantidade de materiais por metro cúbico .....	72
Tabela 13 – Custos das alternativas até a execução do pilar .....	76
Tabela 14 – Relação de cimento e clínquer .....	81
Tabela 15 - Consumo total de óleo diesel de cada pilar, independente do cimento.....	82
Tabela 16 – fatores de equivalência para quantificação do CO <sub>2</sub> e .....	83
Tabela 17 - Profundidade média de carbonatação acelerada dos traços analisados.....	85
Tabela 18 - Estimativa da vida útil do pilar de concreto armado para um cobrimento efetivo de 20 mm .....	87
Tabela 19 - Profundidade média de carbonatação natural dos traços analisados.....	88
Tabela 20 – Coeficientes de carbonatação natural dos traços analisados.....	89
Tabela 21 – Custos de cada fase do pilar de concreto .....	90
Tabela 22 – Valores totais, unitários e índices dos impactos e custos .....	93
Tabela 23 – Dióxido de carbono equivalente de cada alternativa de pilar .....	98
Tabela 24 –Impactos individuais unitários e índices.....	99
Tabela 25 – Média geométrica dos resultados unitários dos impactos totais e custo.....	101





## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Valores inseridos na fase de uso/manutenção .....	122
Quadro 2 – Composição de fôrma para pilares com madeira compensada 12mm.....	124
Quadro 3 – Composição de armadura para pilar $\Phi 10$ – sem estribo.....	125
Quadro 4 – Composição de materiais e custos do pilar com CP II-Z fck=30.....	126
Quadro 5 – Composição de materiais e custos do pilar com CP II-Z fck=50.....	127
Quadro 6 – Composição de materiais e custos do pilar com CP IV fck=30 .....	128
Quadro 7 – Composição de materiais e custos do pilar com CP IV fck=50 .....	129
Quadro 8 – Composição de materiais e custos do pilar com CP V-ARI fck=30 .....	130
Quadro 9 – Composição de materiais e custos do pilar com CP V-ARI fck=50 .....	131
Quadro 10 – Composição da limpeza dos pilares.....	132
Quadro 11 – Composição da pintura dos pilares.....	133
Quadro 12 – Composição da demolição com martelo rompedor .....	134
Quadro 13 – Composição do carregamento do entulho no caminhão basculante.....	135
Quadro 14 – Composição do transporte no caminhão basculante.....	136



# SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>21</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>21</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	22
1.2 OBJETIVOS .....	24
1.2.1 Objetivo geral .....	24
1.2.2 Objetivos específicos .....	25
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>26</b>
<b>2 SUSTENTABILIDADE.....</b>	<b>26</b>
2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	27
2.1.1 Influência da indústria da construção civil.....	28
2.1.2 Produção de concreto .....	30
2.2 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E DE CUSTO: CONCEITOS E METODOLOGIA .....	31
2.2.1 Análise do Ciclo de Vida.....	33
2.2.2 ACV aplicada ao concreto estrutural .....	38
2.2.3 Custo do Ciclo de Vida .....	41
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>43</b>
<b>3 DURABILIDADE E VIDA ÚTIL .....</b>	<b>43</b>
3.1 DETERIORAÇÃO DO CONCRETO .....	45
3.1.1 Diferenças entre despassivação e corrosão.....	47
3.2 CARBONATAÇÃO.....	48
3.2.1 Alterações microestruturais do concreto .....	50
3.2.2 Mecanismos de transporte do CO <sub>2</sub> para o interior do concreto .....	51
3.2.3 Modelos de previsão da vida útil .....	53
3.2.4 Métodos de ensaio de carbonatação.....	54
3.2.5 Fatores que influenciam a profundidade e a velocidade da carbonatação .....	57
3.2.6 Controle da Carbonatação .....	59
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>62</b>
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>62</b>
4.1 OBJETIVO E ESCOPO .....	62
4.2 INVENTÁRIO.....	78
4.2.1 Fase de uso e manutenção .....	79
4.2.2 Fase de desconstrução/reciclagem .....	81
4.3 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS E INTERPRETAÇÃO DO CICLO DE VIDA .....	82
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>85</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>85</b>



5.1	DESEMPENHO DOS TRAÇOS FRENTE A CARBONATAÇÃO ACELERADA .....	85
5.2	CARBONATAÇÃO NATURAL.....	88
5.3	CUSTOS .....	90
5.4	ANÁLISE DO CICLO DE VIDA.....	91
5.4.1	Impactos totais: do berço ao túmulo .....	91
5.4.2	Impactos individuais .....	94
5.4.3	Análise unitária dos resultados de impactos individuais.....	99
5.5	AValiação GLOBAL DOS RESULTADOS DE CUSTO E SUSTENTABILIDADE .....	101
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>103</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>105</b>
<b>APÊNDICE A</b>	<b>.....</b>	<b>113</b>
<b>APÊNDICE B</b>	<b>.....</b>	<b>117</b>
<b>APÊNDICE C</b>	<b>.....</b>	<b>121</b>
<b>APÊNDICE D</b>	<b>.....</b>	<b>123</b>
<b>APÊNDICE E</b>	<b>.....</b>	<b>137</b>



# CAPÍTULO I

## 1 INTRODUÇÃO

A humanidade enfrenta grandes desafios na realidade atual e a sustentabilidade do planeta Terra é o que mais se destaca porque afeta a qualidade de vida e sobrevivência. A sustentabilidade do planeta é dependente do equilíbrio pleno entre homem e meio ambiente, e este equilíbrio somente é alcançado por estudos e práticas desenvolvidas nas diversas áreas do conhecimento humano.

Esse processo de desequilíbrio se agravou, com intensidade crescente, em meados do século XVIII, a partir da Revolução Industrial, que propiciou avanços significativos na história da humanidade. Desse marco em diante, especialmente a partir de 1850, a construção civil teve crescimento surpreendente e deu assistência para o desenvolvimento das demais áreas, em vista da descoberta do cimento Portland. Para tanto, iniciou-se um ciclo de consumo de maneira predatória dos recursos naturais, o que gerou grande volume de resíduos.

Destaca-se nesse contexto o concreto: um material composto da indústria da construção, produzido no mundo todo e em grande escala. Segundo pesquisas da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2014), entre 2005 e 2012, o aumento do concreto preparado em centrais brasileiras foi de 180%. Estima-se que as concreteiras tenham produzido 51 milhões de m<sup>3</sup> em 2012. Em relação ao cimento, principal componente do concreto, os dados de produção e consumo são altos. De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2014), a produção de cimento no Brasil durante o ano de 2013 foi aproximadamente 71 milhões de toneladas, isto equivale a um consumo per capita de 353 kg/hab.

O concreto é uma das bases que sustentam a construção civil, portanto, é preciso buscar a sustentabilidade deste material composto, através de pesquisas que viabilizem novas práticas, para obterem-se resultados relevantes no contexto da construção.

Esta pesquisa busca avaliar a sustentabilidade do concreto estrutural através de metodologias já desenvolvidas pelo meio científico. Trata-se da Análise do Ciclo de Vida modular (ACV-m) e Análise do Ciclo de Custo (ACC), por meio de programa computacional SimaPro, por exemplo.

O estudo da ACV deve abranger todo o ciclo da vida útil, pois análises parciais podem levar a resultados errôneos. Por exemplo, um produto pode ser classificado como ambientalmente correto quando analisado em dada etapa de sua vida útil, durante a produção,

quando são utilizados resíduos, subprodutos ou materiais recicláveis em sua composição. Entretanto, a análise total quanto ao desempenho frente a durabilidade sob as condições ambientais vigentes pode indicar menor prazo de vida útil e, logo, menor sustentabilidade. O conceito de sustentabilidade é complexo, pois atende a um conjunto de variáveis interdependentes. Caracteriza-se como uma condição de permanência ao integrar questões sociais, econômicas e ambientais. Os aspectos sociais tratam do capital humano, salários adequados diante legislação, ambiente de trabalho agradável, educação e lazer. Os aspectos econômicos são relativos aos custos monetários do produto ou processo. Já o fator ambiental aborda os impactos sobre o meio ambiente, em curto, médio e longo prazo.

Esta pesquisa está inserida em projeto guarda-chuva que abrange a vida útil completa do concreto estrutural, por meio de quatro dissertações de mestrado, todas desenvolvidas na Universidade Federal de Santa Maria. Silva (2014) realizou o estudo das mesmas variáveis no período *berço ao portão*, ou seja, do período de obtenção dos materiais até a execução da unidade funcional. Entende-se unidade funcional, conforme a NBR ISO 14040:2014, como uma unidade comparativa de produtos diferentes para uma mesma finalidade. A unidade funcional do projeto guarda-chuva foi um pilar de concreto armado de uma construção específica fictícia, logo, os concretos em estudo são produtos diferentes entre si quanto ao tipo de cimento e resistência característica, porém, terão equivalência de função: suportar as mesmas cargas atuantes. Na presente pesquisa, serão abordadas as fases de produção, de uso, de manutenção e de descarte/reuso do concreto estrutural, através da verificação da durabilidade da unidade funcional com diferentes cimentos, resistências à compressão e métodos de verificação da carbonatação, uma das principais reações de deterioração do concreto. Outra dissertação inserida no projeto tratará das mesmas fases, porém, o agente de deterioração do concreto estudado será íons cloretos. E uma quarta dissertação abordará o uso de reciclado de construção e demolição (RCD) e reciclado de bloco de concreto (RBC) na substituição parcial do agregado.

## **1.1 Justificativa**

A população mundial está em crescimento constante e a resultante são problemas ambientais, hoje parte de nossas discussões diárias: o aquecimento global; poluição do ar e água; a destruição de ecossistemas e esgotamento dos recursos naturais.

A Construção Civil destaca-se neste cenário porque, no ramo industrial é o setor altamente consumidor de recursos naturais para suprir a demanda por construções de habitações e de infraestrutura, com a finalidade de satisfazer necessidades da população. O



ambiente construído requer enorme quantidade de materiais, e não subsiste sem consumo de cimento e seus derivados, especialmente o concreto por ser, individualmente, o material mais consumido pelo homem. De acordo com o relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2014), a produção mundial de cimento é responsável por, aproximadamente, 8% das emissões de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) antropogênico, e supera o consumo de alimentos, o que dá a dimensão do seu enorme consumo como material de construção para todo e qualquer ambiente construído.

Sabe-se das boas propriedades gerais do concreto, como durabilidade e segurança estrutural intrínseca aos agentes naturais; boa resistência ao fogo; possibilidade de uso de adições minerais em substituição ao cimento e de agregados provenientes de entulhos ou demolição (RCD). Estas e outras propriedades dão perspectivas de melhora quanto à sustentabilidade ao concreto, já superiores a outros materiais estruturais como aço e madeira. A relação custo/benefício é muito significativa, razão pela qual, aliada a outras vantagens como existência de matéria prima abundante, facilidade de moldagem, liberdade de formas e outras, torna-se o material preferido para fins estruturais e outros usos no ambiente construído.

Outra possibilidade de tornar o concreto mais sustentável é o incremento de resistência à compressão, que possibilita a redução das dimensões, e conseqüentemente, diminui o volume dos elementos estruturais, a quantidade de fôrmas de madeira ou metálicas e, primordialmente, do concreto propriamente dito. Essa alternativa, conhecida como desmaterialização, permite ganhos significativos de espaços livres em projeção horizontal por meio da diminuição da seção dos pilares e aumento das distâncias entre eles.

Para avaliar a sustentabilidade de materiais de construção deve-se fazer estudo comparativo de *unidades funcionais* que exerçam a mesma função numa edificação, por exemplo, comparação de um pilar com dada capacidade de suporte de cargas de uma estrutura de concreto, de aço ou madeira, calculando-se os impactos produzidos durante a produção deste pelo uso dos materiais e insumos empregados e, também, na sua execução, uso e manutenção, até o fim do ciclo de sua vida útil.

Uma das melhores maneiras de analisar esse estudo comparativo é o uso da ferramenta Análise de Ciclo de Vida (ACV), que quantifica comparativamente o impacto ambiental dessa peça estrutural ao longo da vida útil, de acordo com a série de normas NBR ISO 14040. Porém, sua implantação é complexa e de alto custo, devido ao envolvimento de variáveis e recursos humanos muitas vezes indisponíveis. Por esse motivo, o Conselho Brasileiro da Construção Sustentável propôs, por meio de um painel internacional, uma Plataforma Global

Simplificada de Avaliação do Ciclo de Vida modular (ACV-m). Esse método tem foco nos aspectos ambientais mais relevantes: consumo de energia, de água, de matérias-primas, geração de resíduos e emissão de CO<sub>2</sub>, portanto, não implica em perda na confiabilidade. Isso torna a avaliação mais praticável, com redução de tempo e custo (CONSELHO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 2014).

Outra forma de reduzir a complexidade do estudo de ACV tradicional é definir a(s) fase(s) do ciclo de vida que será(ão) avaliada(s). O ciclo de vida de um produto se estende do “berço ao túmulo”, ou seja, da obtenção dos materiais componentes desse produto desde a extração até o descarte final. A análise pode ser parcial, por exemplo, do “berço” ao “portão”, que avalia os impactos entre as fases de obtenção dos materiais e entrega do produto ao consumidor.

É de grande valia levar em paralelo uma avaliação de custo das alternativas em estudo, para associar os aspectos econômico-ambiental. O Custo do Ciclo de Vida (CCV) consiste no levantamento dos custos envolvidos nas etapas da vida útil da unidade funcional em estudo, e seus resultados, em conjunto com a ACV, permitem determinar a melhor alternativa em termos de benefício/custo. Os aspectos sociais não são completamente abordados na presente pesquisa, apenas os encargos sociais fizeram parte do estudo. Não foram considerados a qualidade do ambiente de trabalho, saúde do trabalhador e familiares, educação e lazer.

Estudos que analisem a sustentabilidade de materiais e estruturas da construção civil são de grande valor atualmente, devido à grande importância desse setor para o desenvolvimento humano e preservação do meio ambiente, concomitantemente. Tendo isso em mente, este estudo busca trazer benefícios à sociedade, além de contribuir ao meio ambiente por meio dos conhecimentos teóricos e práticos realizados.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Realizar análise econômico-ambiental de um pilar de concreto armado de uma edificação padrão da região de Santa Maria – Rio Grande do Sul, por meio de ensaio de durabilidade em laboratório, Análise do Ciclo de Vida modular e de Custo do Ciclo de Vida, dimensionado para dois níveis de resistência e três tipos de cimentos, durante as fases de produção, de uso, de manutenção e de descarte (período compreendido entre berço e o túmulo) desta unidade funcional. Os cálculos dos impactos desde o berço até o portão serão

aproveitados da dissertação de Silva (2014) que pertence a este mesmo projeto, desenvolvida com os mesmos materiais.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- a) realizar o projeto estrutural do pilar de concreto armado de uma estrutura, com todas as cargas incidentes, determinando-se, para cada uma das resistências características de estudo ( $f_{ck} = 30$  e  $50$  MPa), as dimensões geométricas do pilar, os tipos e seções das armaduras e respectivas espessuras de cobrimento;
- b) calcular as quantidades de materiais para os traços de concreto com os três tipos de cimentos a serem estudados: CPIIZ, CPIV e CPVARI, agregados miúdos quartzosos e grãos naturais diabásicos da região de Santa Maria, para os dois níveis de resistência característica à compressão axial;
- c) calcular os coeficientes de carbonatação natural e acelerada para avaliação da vida útil presumida do concreto (até a despassivação da armadura);
- d) realizar o inventário do Ciclo de Vida para quantificação de todos os fluxos (entradas e saídas) dentro da etapa de construção, uso, manutenção e descarte/reuso;
- e) avaliar o Custo do Ciclo de Vida das fases de construção, uso/manutenção e descarte/reuso de cada uma das alternativas dos traços de concreto para comparação com os resultados obtidos da ACV, com o intuito de avaliar o impacto econômico das alternativas propostas;
- f) escolher a(s) melhor(es) alternativa(s) entre as seis propostas nos objetivos, durante as fases do ciclo de vida estudadas, que produzam a melhor relação custo financeiro/custo ambiental.

## CAPÍTULO II

### 2 SUSTENTABILIDADE

Atualmente, há uma grande preocupação com as questões sociais, econômicas e ambientais, interligadas diante o desenvolvimento humano. Nosso planeta dá sinais claros que não suporta o ritmo de consumo que seguimos. Em alguns países, certas regiões apresentam níveis de poluição que provocam alterações nos ecossistemas e problemas gravíssimos de saúde para os habitantes. Diante das ocorrências catastróficas ligadas ao meio ambiente, a humanidade vê-se forçada a reformular sua maneira de interagir com o planeta. Isto é positivo, pois implica no estudo e desenvolvimento de práticas inovadoras nos diversos setores que, na maioria das vezes, estão ligados entre si sinergicamente.

De acordo com o documento *Our Common Future* (Nosso Futuro Comum) (1987), conhecido como Relatório Brundtland, o progresso da humanidade sempre foi dependente da própria engenhosidade técnica e da capacidade de ação cooperativa. Estas qualidades têm contribuído no desenvolvimento e progresso ambiental: controle da poluição do ar e água, aumento da eficiência dos materiais e uso de energia. Entende-se desenvolvimento e progresso ambiental como *desenvolvimento sustentável*, caracterizado pela procura em atender às necessidades e aspirações presentes sem comprometer a capacidade de atender às do futuro. Para tal, é preciso focar sobre as fontes de problemas ambientais, ao invés de sintomas.

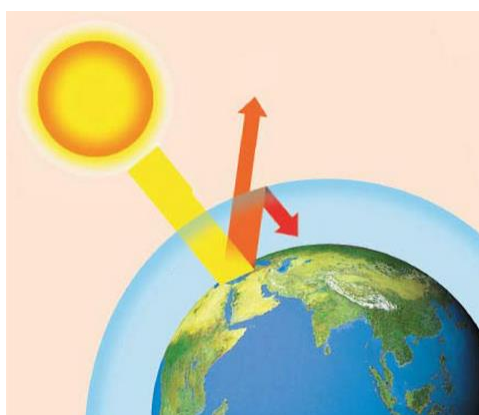
A necessidade de mudanças nos diversos ramos da indústria de construção já é visível. Na busca do desenvolvimento sustentável, é preciso equilíbrio entre os agentes envolvidos no processo de produção, tanto no processo de elaboração do produto: viabilidade técnico-econômica, proteção ambiental, desde a concepção até o descarte final, quanto na responsabilidade social dos agentes envolvidos, pois não há sustentabilidade sem a resolução de problemas sociais, como as desigualdades de distribuição da riqueza e dos valores morais e éticos (OUR COMMON FUTURE, 1987).

No presente capítulo serão tratados dois temas principais a respeito da sustentabilidade: mudanças climáticas e explanação das metodologias análise do ciclo de vida (ACV) e custo do ciclo de vida (CCV).

## 2.1 Mudanças climáticas

A Terra passa atualmente por um período de mudanças no clima como: alternâncias no regime de chuvas e secas, desertificação, derretimento de geleiras, aumento no nível de oceanos, etc. Um dos efeitos mais notáveis nessa questão é a elevação da temperatura média no planeta, que faz com que esse conjunto de eventos seja também conhecido como aquecimento global, embora o termo mudanças climáticas seja considerado a designação mais adequada. Os prognósticos variam, mas de maneira geral, apontam para um aumento da temperatura média no planeta, com estimativas entre 2°C a 4°C até o final do século XXI, em relação a 1990 (IPCC, 2007a).

Basicamente, a temperatura do planeta é produto de um balanço energético: a energia recebida do sol resulta em aquecimento; aquecida, a terra se resfria ao emitir radiação para o espaço. O aumento da concentração de gases da atmosfera, principalmente o gás carbônico (CO<sub>2</sub>), além de metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e outros, diminuem gradativamente a quantidade de energia emitida para o espaço (Figura 1). Mantida a radiação solar na atmosfera do planeta, a tendência é que ocorra aquecimento global (JOHN, 2010).



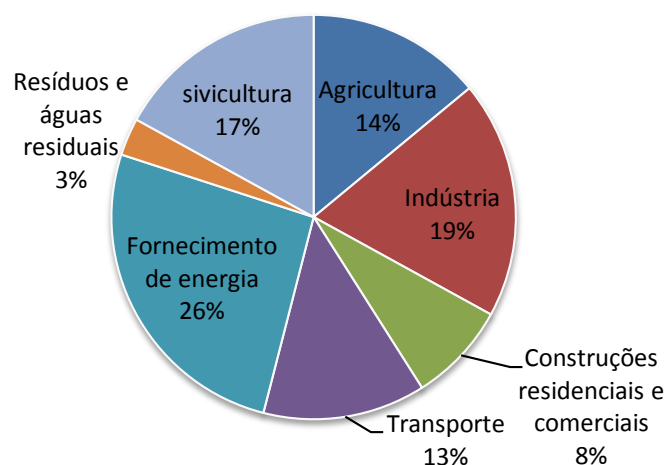
**Figura 1 - Efeito estufa no planeta**  
(BOLIGIAN et al., 2009)

Cada um desses gases pode permanecer na atmosfera por diferentes períodos de tempo, que vão de poucos anos até milhares de anos, suficiente para difundir-se por todo o globo terrestre, o que significa que a quantidade medida na atmosfera é aproximadamente a mesma em todo o mundo, independente da fonte de emissões (USEPA, 2014).

Brown (2003) explica que esse aumento de concentração do CO<sub>2</sub> tem duas origens principais: a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento. Anualmente, mais de 6 bilhões de toneladas de carbono são liberadas na atmosfera com a queima de combustíveis

fósseis. De 1900 a 2008, o aumento de emissões pela queima foi de 16 vezes, e cerca de 1,5 vezes de 1990 a 2008 (USEPA, 2014). Deve-se também citar o uso de combustível fóssil no transporte dos materiais industriais. Takahashi (2008) argumenta que no Brasil, a distribuição modal no transporte ainda é muito centrada no rodoviário, resultado de várias décadas de priorização do governo por esse meio. Esse ato levou o país à dependência das rodovias, e conseqüentemente, a baixos índices de produtividade, aumento da insegurança nas estradas, baixa eficiência energética e aumento da poluição.

As estimativas da liberação de carbono pelo desmatamento variam muito, mas está em torno de 1,5 bilhão de toneladas/ano. A liberação de CO<sub>2</sub> dessas duas fontes está suplantando a capacidade da natureza de fixar o dióxido de carbono. Com base nas emissões globais, a indústria responde por aproximadamente um quinto das emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub>, conforme figura 2 (IPCC, 2007a).



**Figura 2 - Emissões globais de gases de efeito estufa por fonte**  
(Adaptado - IPCC, 2007a)

### 2.1.1 Influência da indústria da construção civil

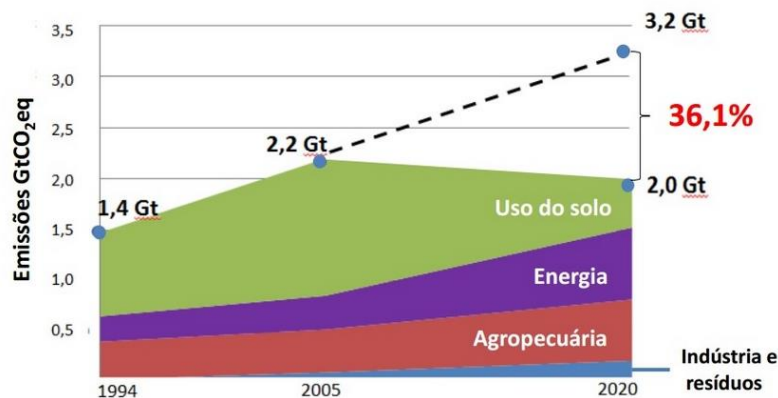
Diversos setores da sociedade têm tomado consciência da pressão que substâncias geradas nas indústrias podem exercer sobre o meio ambiente e, conseqüentemente, sobre a saúde e a qualidade de vida de todos. Observam-se desperdícios notórios, como o grande volume de resíduos sólidos, além da carência de iniciativas para sua redução na origem industrial. Evidentemente, o processo de degradação ambiental tem início na produção. Da

extração da matéria-prima ao descarte, detectam-se procedimentos de alto impacto, para a natureza e saúde humana (ALMEIDA e GIANNETTI, 2006).

Na indústria da construção civil, Agopyan e John (2011) destacam três principais fontes de emissões de gases estufa: além do uso de combustível fóssil na fabricação e transporte de materiais e o desmatamento com a extração de madeira nativa não manejada, ocorre grande emissão oriunda da decomposição do calcário e outros carbonatos durante a calcinação. O processo de calcinação permite a eliminação de gases tóxicos e água cristalizada presentes nos resíduos. Decompor o calcário em fornos de altas temperaturas é fundamental para a indústria da construção civil, como na fabricação do cimento, aço e cal, todavia, também é considerada uma fonte importante de emissão de CO<sub>2</sub>. Cada tonelada de calcário libera 440 kg de CO<sub>2</sub> e gera apenas 560 kg de cal. Conseqüentemente, o cimento é responsável por, aproximadamente, 5% das emissões de CO<sub>2</sub> antropogênico, visto que cerca de 2/3 de sua matéria prima é o calcário (calcita).

Algumas alternativas podem ser tomadas pelas indústrias com o intuito de reduzir esses problemas. Pode-se fazer uso de fontes de calor não poluidoras, como fornos elétricos; ou ainda o emprego de combustíveis com baixo teor de enxofre, como o petróleo brasileiro ou o gás natural; prevenção com chaminés altas, que permite rápida e eficiente diluição dos poluentes no ar; e adoção de sistemas de tratamento de poeira e gases tóxicos, como filtros, lavagem de poeira e sistemas eletrostáticos (DEL PINO et al., 1996). As projeções do IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change* – tem auxiliado as organizações e instituições a estabelecerem metas. No caso brasileiro, o Decreto Nº 7.390 regulamentou, em dezembro de 2010, a Política Nacional de Mudanças do Clima, ao indicar uma meta de corte de emissões entre 36,1% e 38,9% até 2020. O decreto estabelece metas setoriais de redução de emissão, como mostra a figura 3.

Além do cimento, materiais como cerâmica, aço e alumínio são responsáveis por importantes emissões de CO<sub>2</sub>. Nesses casos, o uso de matéria-prima reciclada é uma alternativa eficaz para a redução de impacto ambiental. Estimar as emissões de gases do efeito estufa na produção desses e outros materiais é mais difícil devido à carência de dados estatísticos confiáveis. A indústria do aço, alumínio e plástico fornecem produtos para outras cadeias produtivas, dificultando ainda mais a análise do impacto ambiental gerado pela construção civil (JOHN, 2010).



**Figura 3 - Meta nacional para redução de emissões de gases de efeito estufa (INSTITUTO CARBONO BRASIL, 2014)**

### 2.1.2 Produção de concreto

O concreto é um dos materiais mais consumidos no mundo e apresenta características como: custo relativamente baixo, flexibilidade de formas, resistência, vida útil, disponibilidade de matérias-primas, etc., que o tornam importante para a construção de edificações e infraestrutura (THE CONCRETE CENTRE, 2009). Trata-se de um material composto, basicamente produzido com cimento, água e agregados, e, para determinadas aplicações, pode conter aditivos, pigmentos, fibras, agregados especiais e adições minerais. Ao misturar a água ao cimento Portland, é criada uma pasta que envolve o material granular, e este conjunto enrijece após poucas horas.

As emissões de CO<sub>2</sub> do concreto são diretamente relacionadas, entre outros fatores, ao consumo de cimento, o qual é estritamente ligado ao rigor no controle tecnológico do concreto; perdas de materiais na produção e aplicação do concreto (LIMA, 2010).

Para determinado empreendimento é preciso certa quantidade total de material, e todo consumo acima do necessário é chamado de perda ou desperdício. Entende-se quantidade teórica necessária como aquela indicada no projeto e seus memoriais, ou demais prescrições do executor, para a execução do produto (SOUZA E DEANA, 2007).

Observa-se maior desperdício nos materiais usados para preparação de concretos em obras, como de areia, pedra e cimento, o que indica a possibilidade de que esses concretos apresentam índices de desperdício maiores do que os do concreto usinado. Nesses casos, os materiais passam por diversas etapas de manuseio, e o transporte permite maiores perdas. Deve-se considerar que o concreto usinado chega pronto à obra, em períodos pré-



estabelecidos, havendo preparação para seu recebimento (pessoal, espaços, transporte interno) (LIMA, 2010).

Na fase de execução das obras ocorre uma geração alta de resíduos, pois o seu volume é agravado pelas perdas dos processos não otimizados, estejam ou não incorporados à construção. Esse fator é muito preocupante nas áreas urbanas, onde há muitas obras e em grandes proporções, e afeta de maneira significativa no consumo de materiais (AGOPYAN E JOHN, 2011).

Na busca pela redução de concreto consumido, o engenheiro responsável pelo projeto pode estudar a aplicabilidade de um concreto com maior resistência característica. A norma NBR 12655 (ABNT, 2006) define que a resistência do concreto em obra na idade de  $j$  dias, resultante da avaliação de amostras obtidas durante a execução da obra, deve atingir a resistência característica definida em projeto ( $f_{ck}$ ), com a aplicação da equação 1:

$$f_{cj} = f_{ck} + t.S \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

$f_{cj}$  = resistência média dos resultados de ensaios realizados;

$f_{ck}$  = resistência característica do concreto de cálculo;

$t$  = valor da variável reduzida (distribuição de Student), que expressa a probabilidade de 5% dos resultados estarem abaixo do menor valor admitido, ou  $f_{ck}$ . Para concreto armado convencional, o valor da variável reduzida é 1,65;

$S$  : desvio padrão dos resultados do ensaio.

Mehta e Monteiro (2008) apontam que o acréscimo de resistência do concreto permite a redução da seção do elemento estrutural. Logo, implica em redução do volume de concreto consumido e, ainda, aumento da área útil do pavimento. Essa prática é conhecida como “desmaterialização”. Reduzir o consumo de concreto significa reduzir o consumo de cimento, de agregados, de transporte, ou seja, representa um ganho para a sustentabilidade.

## 2.2 Análise do ciclo de vida e de custo: conceitos e metodologia

Com a crescente importância das questões ambientais para a sociedade, fez-se necessário o desenvolvimento de abordagens e ferramentas de gestão que possibilitassem às empresas, governo ou instituições de ensino e pesquisa, avaliar as consequências ambientais das decisões tomadas em relação aos seus processos ou produtos.

Um dos primeiros problemas surgidos foi como comparar produtos ou processos distintos, quando lidamos com as consequências ambientais. Era necessário estabelecer critérios comuns de comparação, e realizar abordagem completa. Para resolver esse problema, desenvolveu-se a ferramenta de avaliação do ciclo de vida de produtos ou serviços, um método para a avaliação dos sistemas de produtos ou serviços que considera os aspectos ambientais em todas as fases da sua vida. Ele estabelece vínculos entre esses aspectos de impacto potencial ao consumo de recursos naturais, à saúde humana e à ecologia (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CICLO DE VIDA, 2014).

A análise de ciclo de vida (ACV) é uma tentativa de inventariar os impactos ambientais gerados pelas atividades em toda a cadeia produtiva. Segundo Seo e Kulay (2006), ao realizar-se o estudo de ACV, identificam-se as entradas e saídas (matéria e energia) da construção em questão, e então se avaliam os impactos ambientais em potencial associados a essas entradas e saídas. As principais etapas da cadeia produtiva da construção civil são: exploração dos recursos, manufatura, transporte, construção e destinação de resíduos.

A NBR ISO 14040:2014 Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura, criada para difundir a ferramenta ACV, orienta sua aplicação:

- na identificação de oportunidades para melhorar os aspectos ambientais dos produtos em várias etapas de seu ciclo de vida;
- na tomada de decisões na indústria, organizações governamentais ou não governamentais;
- na escolha de indicadores mais confiáveis de desempenho ambiental, incluindo técnicas de medição;
- no marketing, quando produtos ou serviços são identificados como cumpridores de requisitos ambientais.

Dentro da ACV, pode-se ainda analisar todos os custos de um produto, processo ou atividade ao longo da sua vida, chamado genericamente *Life Cycle Costs Analysis* (LCC), ou, em português: Análise dos Custos do Ciclo de Vida (ACCV, ou ainda CCV). Os custos do ciclo de vida de uma edificação incluem custos de projeto, de construção, de operação, de manutenção, de reabilitação e de demolição/desconstrução. Simplificadamente, os custos do ciclo de vida podem ser estimados através da contabilização dos recursos dispendidos em cada uma dessas fases. Esses recursos podem ser uma disponibilidade financeira, material, humana ou imaterial consumida ou utilizada na execução de atividades (REAL, 2010). As diferenças entre as duas metodologias são abordadas na tabela 1.

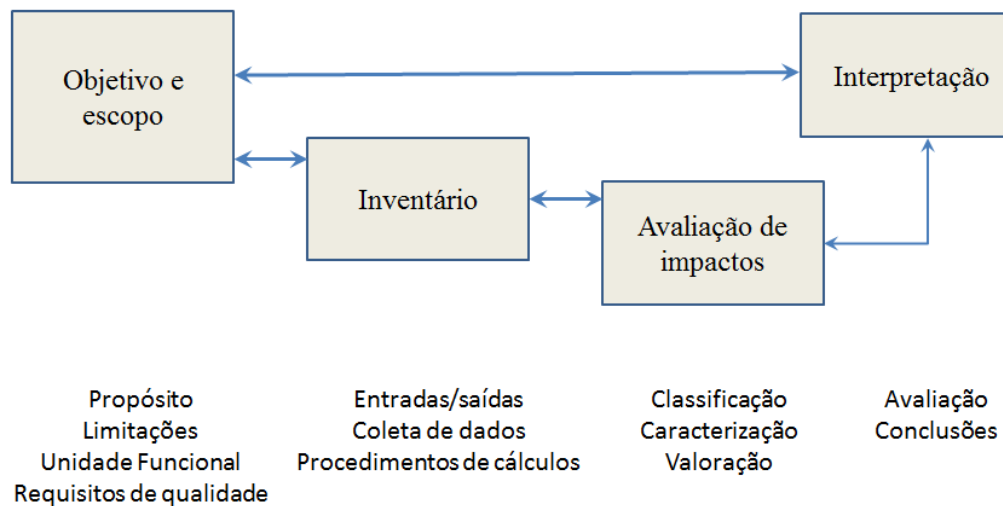
**Tabela 1 – Diferenças entre a ACV e CCV**

	ACV	CCV
<b>Objetivo</b>	Impactos ambientais potenciais	Valores econômicos
<b>Escopo</b>	Materiais e produtos	Custos
<b>Abordagem</b>	Descendente	Ascendente
<b>Avaliação de impactos ambientais</b>	Ar, água e solo	-
<b>Avaliação de custos</b>	-	Todos os custos
<b>Unidade</b>	Unidade física	Unidade monetária
<b>Fluxos</b>	Materiais e energia	Benefícios e custos

Fonte: Adaptado de Silva, 2014.

### 2.2.1 Análise do Ciclo de Vida

A NBR ISO 14040:2014 define as etapas da metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida de um produto ou serviço: definição de objetivo e escopo, quantificação dos dados (inventário) de todas as entradas (materiais, energia e recursos) e saídas (produtos, subprodutos, emissões, etc.), identificação dos impactos ambientais potenciais ao longo do ciclo de vida e da interpretação dos resultados do estudo (figura 4).



**Figura 4 – Etapas da metodologia Análise do Ciclo de Vida**

#### *Objetivo e escopo*

Na etapa de definição do objetivo é estabelecido o motivo para a condução do estudo, sua abrangência e o público-alvo do estudo. Já na definição do escopo serão considerados os parâmetros como função, unidade funcional e fluxo de produto, definição de fronteiras,

critérios para a utilização de cargas ambientais, bem como as categorias de impacto (SEO E KULAY, 2006).

Segundo John (2010), a definição de fronteiras é um fator crítico, pois afeta os resultados. Essa etapa consiste em definir as etapas mais significativas do processo. O critério mais comum para essa decisão é pela escolha, conforme participação da etapa na massa ou energia total consumida pelo produto, ou ainda, no custo da produção. A definição de parâmetros ambientais consiste em priorizar quais as emissões relevantes para o estudo, de maneira a reduzir informações, e, conseqüentemente, acrescenta erros ao estudo. Já a definição da unidade funcional é necessária para possibilitar comparação entre produtos. É preciso estabelecer a mesma função e desempenho de produtos, e essa escolha depende do objetivo do estudo.

No escopo ainda são feitas especificações geográficas, técnicas, históricas e origem dos dados. Nesse sentido, Chehebe (1998) alerta que a busca de tais informações pode levar muito tempo e acaba por ajustar o escopo. Além disso, o nível de detalhe do estudo está relacionado ao tempo, espaço, hipóteses e limitações. Os limites de ACV são geralmente ilustrados por fluxogramas que mostram a sequência do sistema, que auxiliam graficamente uma visão global dos sistemas e inter-relações.

O processo de estabelecer o objetivo ou escopo pode ser bastante complexo, segundo a NBR ISO 14040:2014. O escopo deve ser suficientemente bem definido para garantir que a extensão, a profundidade e o detalhamento do estudo sejam suficientes para alcançar o objetivo estabelecido. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica interativa, logo pode ser necessária modificação do escopo do estudo ao passar da análise, em função de uma série de fatores.

### *Inventário*

Na “Análise do Inventário”, pela NBR ISO 14040:2014, coletam-se dados e estabelecem-se os procedimentos de cálculo, buscando o agrupamento desses dados em categorias ambientais normalmente utilizáveis e comparáveis. Considera-se nessa fase que há um balanço: tudo o que entra deve ser igual ao que sai do sistema, em termos de energia ou massa, desde a extração das matérias-primas até o descarte final do produto. A coleta de dados pode ser um processo de intensiva demanda de recursos, além da possível indisponibilidade de dados, má qualidade dos dados disponíveis ou da necessidade de estimá-los. A coleta é feita tanto através de medidas em campo, quanto através de dados de fornecedores e buscas bibliográficas. John (2010) orienta a obtenção dos dados associados às

matérias-primas e à energia gastas no processo diretamente com fornecedores, ou a partir de dados médios dos setores industriais, disponíveis em órgãos ambientais.

Para Seo e Kulay (2006) a condução do inventário é como um processo iterativo, cuja sequência envolve a verificação de procedimentos, para que os requisitos de qualidade estabelecidos na primeira fase estejam sendo obedecidos. O inventário revela-se um procedimento complicado e trabalhoso, por conta de uma série de razões ligadas direta ou indiretamente à coleta de dados.

#### *Avaliação de impactos*

Na etapa de Avaliação do Impacto, há identificação e avaliação em termos de impactos potenciais ao meio ambiente que podem ser associados aos dados levantados no inventário. A norma NBR ISO 14040:2014 propõe uma estrutura para o processo de avaliação incluindo basicamente três etapas:

- Seleção e definição das categorias, estabelecidas com base no conhecimento científico;
- Classificação: os dados são classificados nas categorias selecionadas;
- Caracterização: os dados são modelados por categoria de forma que cada um possa ter o seu indicador numérico.

De acordo com John (2010) não é somente na fase de produção que são gerados impactos potenciais ao meio ambiente. O transporte, montagem em canteiro e fase de uso, além da demolição, causam impactos importantes para a análise. A fase de uso é muito mais extensa que as demais fases, e sua contribuição na poluição dependerá dos hábitos ou atividades desenvolvidas pelos usuários. Além disso, cada uma dessas fases tem seus impactos ambientais positivos ou negativos. Alguns exemplos de impactos negativos são: mudanças climáticas; diminuição da camada de ozônio; acidificação; consumo de combustíveis fósseis; degradação ambiental; poluição do ar; interferência na saúde pública; consumo de água; consumo de energia; geração demasiada de resíduos; toxidade ambiental; smog ou névoa seca (reações da poluição atmosférica).

Um impacto com pontos positivos é a fixação de CO<sub>2</sub> atmosférico pela carbonatação do concreto, apesar dos riscos que essa reação causa a algumas estruturas. Trata-se da absorção do dióxido de carbono presente no ambiente pelo material concreto, ou seja, o concreto reage com o CO<sub>2</sub> e retira, assim, o CO<sub>2</sub> do ambiente.

Segundo O'Neill (2003), para calcular a quantidade de emissões e resíduos gerados durante o ciclo de vida de um produto é necessária grande quantidade de informações.

Algumas delas podem estar disponíveis em banco de dados genéricos ou específicos. Existem softwares que apresentam modelos para a Avaliação do Ciclo de Vida, desenvolvidos para auxiliar nos cálculos dos impactos ambientais gerados, entre eles: Boustead, SimaPro, GaBi e Umberto. Como são necessárias muitas informações, o estudo de ACV pode se tornar também extremamente complexo, nesse sentido, os programas contêm bibliotecas de produtos e/ou processo. Atualmente, o *ecoinvent* é o principal banco de dados, trata-se de uma biblioteca de inventários com valores de cargas ambientais (entradas e saídas de materiais, substâncias e energia), associadas ao ciclo de vida de um grande número de produtos, processos, sistemas de energia, de transporte, de disposição de resíduos, dentre outros.

Alguns técnicos poderão atribuir pesos aos resultados da avaliação de impacto. Como a ponderação é um processo baseado em valores e pode envolver critérios subjetivos, que dependem de cada região e determinados fatores, assim essa etapa é considerada como não científica, sujeita a distorções (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CICLO DE VIDA, 2014).

#### *Interpretação de resultados e tomada de decisão*

A interpretação dos resultados de ACV é orientada pela NBR ISO 14040:2014 e pela NBR ISO 14044:2014 – Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações. Trata-se de uma das etapas mais sensíveis, pois as hipóteses definidas durante as fases anteriores, assim como ajustes necessários, podem alterar o resultado final do estudo.

Seo e Kulay (2006) explicam que esta etapa consiste na identificação e análise dos resultados obtidos nas fases de inventário ou avaliação de impacto do estudo de ACV. A interpretação dos resultados pode tomar a forma de conclusões e recomendações aos profissionais que se valem da ACV como instrumento de auxílio ao processo de tomada de decisão.

Para reduzir os riscos de manipulações, abusos na condução ou erros involuntários devido à complexidade dos estudos, a norma NBR ISO 14040:2014 ressalta que uma revisão crítica pode ser realizada por um especialista, independente do estudo de ACV. Esta revisão é obrigatória quando se tratar de afirmações comparativas ou públicas. Isso porque o uso de resultados de ACV para apoiar afirmações comparativas levanta preocupações especiais, dado que essa aplicação provavelmente afeta partes interessadas que são externas ao estudo de ACV. Uma análise crítica externa pode ser efetuada, tanto por um especialista externo quanto por uma comissão, e suas declarações sobre a análise crítica e o relatório da comissão de análise crítica devem ser incluídos no relatório de estudo de ACV (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CICLO DE VIDA, 2014).

### 2.2.1.1 Análise do Ciclo de Vida Modular

A maior limitação da Análise do Ciclo de Vida é sua principal característica: a abrangência, pois a proposta da ACV é analisar todos os fluxos de materiais e energia que fazem parte do ciclo de vida do produto (GIANNETTI et al., 2014).

Devido a esta e outras limitações, o Conselho Brasileiro da Construção Sustentável propõe uma Plataforma Global Simplificada de Avaliação do Ciclo de Vida (CONSELHO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 2014). O objetivo da ACV simplificada é alcançar os mesmos resultados de uma ACV tradicional, porém com redução de tempo e custo. Neste contexto surgiu o projeto ACV Modular (ACV-m), que está em sincronia com o método de ACV tradicional e é considerado piloto para o estabelecimento de uma plataforma nacional de ACV simplificada. Esta proposta tem foco na área de materiais de construção com o levantamento de dados dos principais produtos do setor.

A simplificação pode, no entanto, afetar a acurácia e confiabilidade dos resultados da ACV. Por isso, é preciso identificar as áreas dentro da ACV que podem ser omitidas ou simplificadas sem comprometer os resultados finais de maneira significativa.

A única opção para popularizar a análise do ciclo de vida, é desenvolver modelos simplificados. Esses modelos devem estar ancorados em declarações ambientais de produtos e quantidades de entrada de insumos e energia, bem como de despacho de produtos e resíduos registrados no sistema de gestão da empresa, complementado com medidas de emissões de poluentes para o ar e a água, obtidos automaticamente e de forma contínua (AGOPYAN E JOHN, 2011).

De acordo com Giannetti et al. (2014), a ACV simplificada não permite avaliar o impacto ambiental durante o uso do material, diante da sua existência, mas pode ser utilizada para avaliar o impacto ambiental das atividades de fabricação, definir a eficiência do processo, e ainda determinar pontos críticos para sua melhoria. Os meios para simplificar a ACV, segundo os autores, incluem: omitir estágios do ciclo de vida; dar ênfase a alguns meios de impactos ambientais; limitar o inventário; omitir alguma avaliação de impacto; utilizar estudos anteriores, principalmente os dados.

No caso nacional, há uma escassez de informações no setor da construção civil que limita a tomada de decisões dos profissionais. Segundo Campos (2012), a contabilização dos impactos ambientais da empresa/produto nos quesitos: consumo de energia, água, consumo de matérias primas, geração de resíduos, de efluentes e emissão de CO<sub>2</sub>, já é demandada pelo

mercado. Nesse ponto, a Análise do Ciclo de Vida Modular apresenta vantagens. A complexidade de dados do processo é reduzida, e a empresa geralmente possui ou realiza o levantamento em pouco tempo. Portanto, apresenta menor custo e tempo, e pode ser aplicada a uma grande variedade de materiais de construção.

### 2.2.2 ACV aplicada ao concreto estrutural

Da contribuição do concreto para as mudanças climáticas, o cimento é majoritário na questão da emissão de CO<sub>2</sub>, apesar da sua pequena massa no concreto. Nielsen (2008) reuniu dados de estudos europeus quanto à emissão de gás carbônico proveniente da produção do concreto. A tabela 2 mostra um cálculo da quantidade de CO<sub>2</sub> gerada para a produção de um concreto com resistência característica de 35 MPa e relação água/cimento de 0,4, produzido na Dinamarca.

O autor concluiu que o transporte de matérias-primas e produtos acabados tem pequena influência, exceto quando as distâncias são significativamente grandes; a calcinação do clínquer responde pela maior emissão de CO<sub>2</sub>, e quando substituído por adições minerais, há uma redução dos impactos; e ainda, a possibilidade de reutilização de concreto britado na área de pavimentação é interessante do ponto de vista ambiental.

**Tabela 2 - Emissões de CO<sub>2</sub> de componentes do concreto em estudo na Dinamarca.**

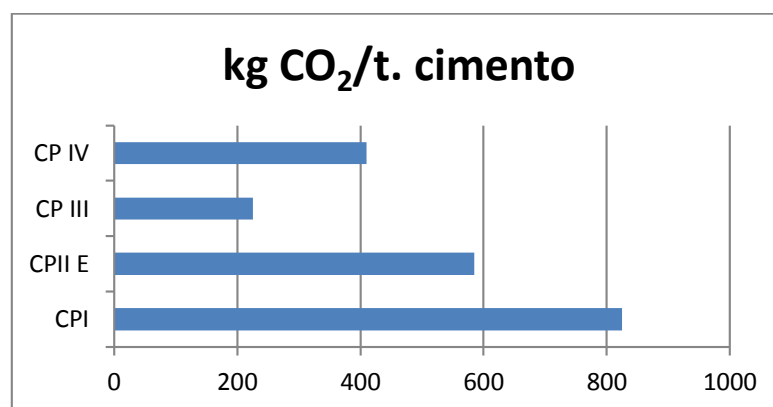
<b>MATERIAL</b>	<b>Consumo de material (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>CO<sub>2</sub> incorporado (kg/t)</b>	<b>CO<sub>2</sub> por volume de concreto (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (%)</b>
Cimento	300	800 a 900	255	68,8
Areia	660	3	2	0,5
Pedra	1170	3	3,5	0,9
Concreto	2400	40	96	25,9
Transporte	-	-	14	3,8
<b>TOTAL</b>			371	100

**Fonte: Adaptado – Nielsen, 2008.**

A literatura mostra que a forma mais eficiente de mitigar as emissões é através da redução do consumo de clínquer. O uso de adições minerais, tanto naturais como subprodutos de outros processos, pode contribuir na redução de CO<sub>2</sub> gerado na fabricação do cimento (LIMA, 2010; AGOPYAN E JOHN, 2011; GUERREIRO, 2014). Porém, é necessário um



estudo prévio da substituição do clínquer. As adições podem não apresentar bom desempenho em algumas aplicações, de modo a acelerar a carbonatação ou facilitar ataques químicos. A figura 5 mostra um comparativo das emissões de CO<sub>2</sub> dos cimentos comercializados, que diferenciam-se da porcentagem de substituição do clínquer por adições minerais.



**Figura 5 - Variação das emissões de CO<sub>2</sub> em diferentes cimentos Portland**

(AGOPYAN E JOHN, 2011).

Guerreiro (2014) realizou a ferramenta ACV de diferentes cimentos comerciais. O cimento CPIII, que contém a menor relação clínquer/cimento dado sua elevada porcentagem de substituição de escória de alto forno, revelou-se o cimento de menor impacto ambiental em diferentes categorias. A autora aponta algumas medidas que contribuem para a eficiência energética e redução de recursos na fase de produção do clínquer, como investimentos na planta industrial e implantação do co-processamento nos fornos rotativos utilizados na queima do clínquer.

Outra oportunidade para mitigar a poluição atmosférica é com o uso de combustíveis que apresentam menores emissões. Nas indústrias, os obstáculos são custo, disponibilidade, limitação da tecnologia nacional de queima. Os fornos podem operar com diferentes tipos de combustíveis, com diferentes taxas de emissões de CO<sub>2</sub>. Lima (2010) sugere o uso de resíduos como fonte de energia na produção, pois reduz a necessidade de uso de combustíveis fósseis, aumentando, ainda, a vida útil dos aterros e reduzindo as emissões de metano destes. Porém, deve-se considerar uma maior geração de gases poluidores na utilização de resíduos.

Para fazer uso da Análise do Ciclo de Vida em uma estrutura de concreto armado é necessário, primeiramente, conhecer seu ciclo de vida. Para isso, deve-se realizar um levantamento dos fluxos que envolvem cada uma das etapas da produção, inclusive a obtenção da matéria-prima, transporte, produção, resíduos pós-uso, entre outros.

Peças de concreto armado são de difícil substituição, e o aumento da vida útil desses materiais significa adiar a geração de resíduos. Nesse sentido, Agopyan e John (2011) afirmam que o conhecimento dos mecanismos de degradação torna-se necessário para o planejamento da vida útil, com medidas de projeto que protejam os materiais, ou na seleção de materiais mais resistentes aos fatores de degradação. Lima (2010) sugere o uso de concretos de alta resistência (CAR) ao invés de concretos de resistência convencional, pois, embora o CAR possa apresentar emissão unitária de CO<sub>2</sub> pouco mais alta, o volume aplicado nas obras tende a ser menor, reduzindo as emissões totais. Para realizar estudos que confrontam os benefícios econômicos e ambientais entre concretos convencionais e de alta resistência (CAR), faz-se importante e necessário analisar os resultados por unidade de resistência (MPa<sup>-1</sup>), dessa maneira, estabelece igualdade na avaliação. Complementando, John (2011) afirma que o aumento da resistência mecânica do concreto é mais eficiente na redução do consumo de materiais em peças submetidas à compressão que peças sob flexão. Aumento da resistência ou utilização de concreto protendido pode reduzir o volume de material necessário, e dessa maneira, garantir economia de recursos naturais não renováveis.

Para a realização da ACV, os autores orientam: não pode ser esquecida as fases de uso, manutenção e demolição da construção. Uma minimização dos impactos ambientais somente na fase de construção pode não significar menor impacto global. Muitas vezes é preciso adotar medidas com maior impacto na fase de construção, mas que diminuam manutenção, o consumo de energia e água, ou acrescente em durabilidade.

Deve-se buscar a redução dos desperdícios de materiais, energia e água, ações simples que trazem uma sequência de benefícios ao meio ambiente como: a redução dos materiais extraídos; a dos materiais descartados nos aterros, prolongando assim a vida útil desses aterros; a do consumo de energia incorporada à construção civil; a do consumo de água; e a das emissões atmosféricas. Conseqüentemente, a redução dos desperdícios no canteiro de obras diminui a emissão de poluentes (CYBIS E SANTOS, 2000).

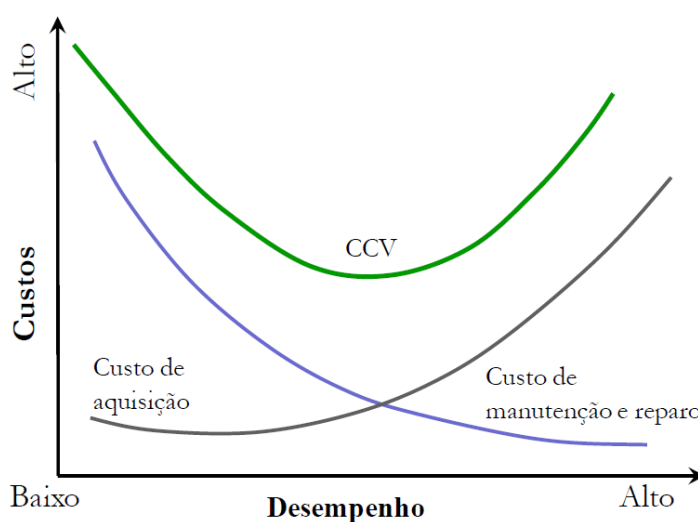
A ACV apresenta aplicação para atividades estratégicas de uma organização, tais como projeto de novos produtos e reavaliação de produtos já existentes. Seo e Kulay (2006) explicam que, com base em resultados da ACV, podem-se fazer opções de projeto, como busca de novos materiais, formas de energia alternativas e implantação de melhorias de processo visando a minimização de perdas, ou a concepção de produtos menos agressivos ao meio ambiente. Porém, Lima (2010) traz a concepção de que, no caso dos componentes do concreto estrutural, os esforços em reduzir os impactos ambientais no processo de fabricação

podem ser perdidos total ou parcialmente, caso a aplicação do concreto apresente problemas ou desperdícios.

### 2.2.3 Custo do Ciclo de Vida

O CCV é uma metodologia de carácter económico que pode contribuir para seleccionar entre as alternativas analisadas ao longo de um período de tempo, a mais eficiente em termos de custos (REAL, 2010).

A partir das alternativas de projeto que conduzam a diferentes custos de operação, manutenção, reparo e reabilitação, durante a vida útil da construção, é possível construir uma curva de desempenho e uma curva de custos ao longo do tempo, conforme apresentado na figura 6 (POSSAN E DEMOLINER, 2013).



**Figura 6 - CCV diante da relação entre custo de construção e manutenção  
(POSSAN E DEMOLINER, 2013)**

Para Real (2010), apesar de apresentar um conceito potencialmente útil para a escolha adequada de soluções visando à sustentabilidade, a análise do CCV é um sistema ainda pouco utilizado e merecedor de desenvolvimento e criação de exemplos de aplicação prática.

Brown (2003) exemplifica ao comparar o custo da eletricidade eólica e o custo de uma usina elétrica a carvão. O custo da eletricidade eólica reflete os custos da fabricação da turbina, sua instalação, manutenção e fornecimento de energia aos consumidores. O custo da eletricidade a carvão inclui a construção da usina, a mineração do carvão, transporte para usina e distribuição da eletricidade aos consumidores. Porém, para obter-se um balanço de

energia e massa corretamente, deve-se incluir o custo da perturbação climática causada pelas emissões de carbono da queima do carvão - são mais tempestades destrutivas, calotas degelando, elevação do nível oceânico ou picos de calor. Também inclui o dano a lagos de água doce e florestas, causado pela chuva ácida, ou os custos de tratamento de doenças respiratórias causadas pela poluição atmosférica. Assim, a estimativa do custo da eletricidade a carvão será mais precisa, e a comparação com a eletricidade eólica poderá gerar outro resultado.

O autor acima explica ainda que uma maneira de auxiliar essa situação seria reunir cientistas ambientais e economistas para que, juntos, calculassem o custo da ação climática. Esse cálculo poderia então ser incorporado como um imposto sobre a eletricidade a carvão, que, adicionado representaria o custo real do uso do carvão. Esse procedimento significaria que todos os tomadores de decisões econômicas, tanto governos quanto consumidores individuais, teriam a informação necessária para tomarem decisões mais inteligentes e ecologicamente responsáveis.

## CAPÍTULO III

### 3 DURABILIDADE E VIDA ÚTIL

Segundo a ISO 13823 (2008), a durabilidade representa a capacidade de uma estrutura, ou de seus componentes, de satisfazer os requisitos de desempenho do projeto, sob a influência das ações ambientais ou pelo processo natural de envelhecimento, durante um período de tempo específico.

A norma brasileira NBR 6118 (2014) define durabilidade como “a capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto”. Para tal, as estruturas devem ser construídas de maneira a conservar sua segurança, estabilidade e aptidão de serviço durante o período correspondente à sua vida útil.

A variável tempo, chamada vida útil, faz-se presente em diferentes conceituações, indicando que esta consiste em mensurar a expectativa de duração de uma estrutura ou partes desta (POSSAN, 2010).

Alguns materiais de construção são mais facilmente substituíveis, como pintura, lâmpadas e aberturas. Entretanto, a vida útil da estrutura é determinada por itens da obra que são de difícil substituição, principalmente peças estruturais. Agopyan e John (2011) expõe que a vida útil dos diferentes materiais, em diferentes situações de uso, pode ser determinada através de ensaios acelerados em laboratório. A estimativa da vida útil de determinada solução construtiva apresenta grande interesse do ponto de vista de engenharia, porque permite estimar o impacto de decisões de projeto em atividades e custo de manutenção, impacto ambiental e até na vida útil final da edificação (SATTLER E PEREIRA, 2006).

A norma NBR 15575-1 – Edificações habitacionais (2013) estabelece a vida útil de projeto para cada um dos sistemas que compõem o edifício. Para a estrutura em si, é fixada uma vida útil mínima de 40 anos.

De acordo com Helene (1997), a vida útil divide-se em vida útil de projeto, de serviço, última e residual, conforme figura 7. No primeiro período da estrutura de concreto ocorre a despassivação da armadura. Nesse momento a estrutura fica exposta a ações de deterioração. Em um segundo momento, o período é denominado vida útil de serviço, onde aparecem manchas na superfície e fissuras através do cobrimento da armadura. A vida útil última se estende até o momento da diminuição da capacidade portante total ou parcial da estrutura, em que a seção da armadura se reduz pelo processo de corrosão. E finalmente, o período de vida

útil residual é a partir de um momento qualquer em que haja uma vistoria que diagnostique o prazo em que a estrutura será capaz de desempenhar suas funções ainda como autoportante.

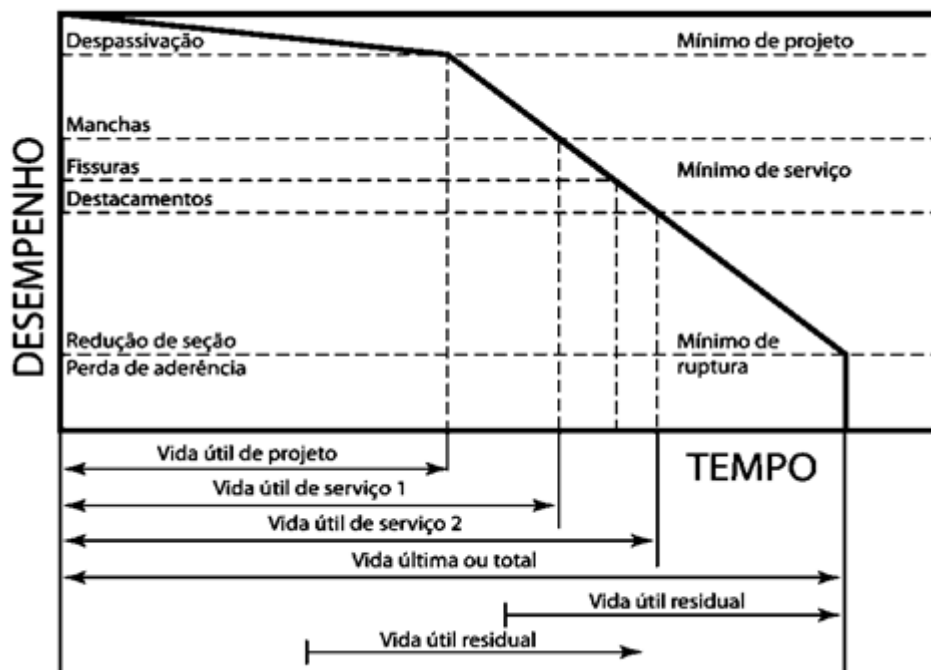


Figura 7 - Vida útil das estruturas de concreto sem manutenção, com ação de corrosão (HELENE, 1997).

O conhecimento da vida útil, segundo Medeiros et al. (2011), tem importância para:

- Prever o comportamento do concreto em longo prazo, e contribuir, assim, para a segurança da estrutura;
- Prevenir patologias precoces que comprometam a proteção dos componentes;
- Contribuir para a economia, sustentabilidade e durabilidade das estruturas.

A estimativa de vida útil de um produto nas condições de uso é um dos requisitos para a realização de uma análise do ciclo de vida de produto. É, também, fundamental em análises de desempenho econômico, a partir do conceito de custo global, que além dos custos de construção, inclui também os custos de manutenção e mesmo de demolição (SATTLER E PEREIRA, 2006).

Quando um produto chega ao fim de sua vida útil é visto como descarte, e se não for aproveitado de alguma maneira, será prejudicial ao meio ambiente, complementam os autores. Além disso, a reposição desse produto descartado demanda matéria-prima, processamento e

transporte. O aumento da vida útil da estrutura reduz a geração de resíduos e consumo de matérias, no entanto, nem sempre reduz o impacto ambiental global.

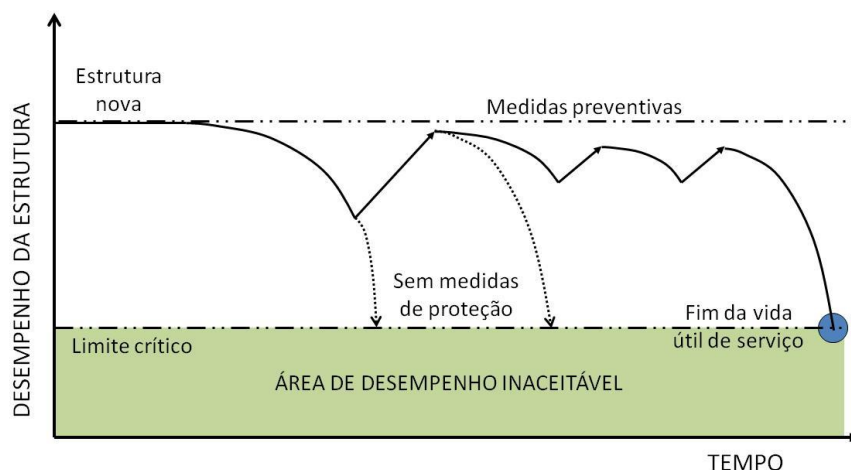
Deve-se considerar o papel do detalhamento de projeto, das práticas de construção, qualidade dos materiais empregados, manutenção e operação, as condições do ambiente e os esforços decorrentes durante o uso, para que a expectativa seja voltada para uma construção sustentável, concluem Agopyan e John (2011). Ao ignorar qualquer uma dessas etapas, perde-se o sentido da busca pela mitigação dos impactos ambientais.

A exigência de sustentabilidade que atualmente é cobrada sobre a construção civil necessita de uma série de inovações. O estudo para estimar a vida útil é uma necessidade que requer aperfeiçoamentos dos métodos, além disso, uma oportunidade em potencial. Seu desenvolvimento pode ser uma fonte para maior compreensão dos processos de degradação, condições de uso e manutenção apropriada (AGOPYAN E JOHN, 2011).

### **3.1 Deterioração do concreto**

“Num sentido geral, o termo 'deterioração' é antônimo de 'durabilidade' (...)” (ROQUE E MORENO JÚNIOR, 2005).

De maneira crescente, os gastos com reparos e substituições de estruturas têm se tornado significativo no custo total das construções. A ênfase no custo do ciclo de vida ao invés do custo inicial está realçando a importância da durabilidade. Além disso, já existe a compreensão da relação entre durabilidade dos materiais e ecologia (sustentabilidade), pois a produção de materiais mais duráveis é favorável do ponto de vista ambiental (MEHTA E MONTEIRO, 2008). Da mesma maneira, Sattler e Pereira (2006) explicam que a degradação dos materiais e componentes tem grande importância econômica, pois exige atividades de manutenção e limita a vida útil das construções (figura 8). Assume-se que o volume de recursos consumidos nas atividades de manutenção de uma estrutura projetada adequadamente pode consumir, aproximadamente, o mesmo volume de recursos financeiros utilizados para a sua construção (SATTLER E PEREIRA, 2006).



**Figura 8 - Variação do desempenho de uma estrutura de concreto armado ao longo do tempo (MEDEIROS et al., 2011).**

Mehta e Monteiro (2008) citam que em países desenvolvidos estima-se que 40% do total de recursos da indústria de construção são destinados a manutenção de estruturas já existentes, e menos de 60% destes recursos em novas construções. Segundo os autores, os profissionais estão focados às questões de durabilidade, devido ao crescimento dos custos que envolvem a reposição de estruturas e a crescente ênfase no custo do ciclo de vida, ao invés de apenas preocupar-se com o custo inicial.

Agopyan e John (2011) expõe que a vida útil de cada material dependerá de sua interação com o meio ambiente. Nas últimas quatro décadas o conhecimento da degradação dos materiais tem crescido, bem como a estimativa da vida útil. É possível selecionar materiais mais resistentes e adequados à degradação imposta pelo ambiente, com especificações de projetos compatíveis.

Azevedo (2011) revela que os problemas envolvidos na interação da estrutura com os agentes externos são verificados com frequência e grande magnitude. De modo geral, os danos advêm do comportamento irregular de componentes, e quando não avaliados e mitigados corretamente, sua atuação pode comprometer a estabilidade e segurança global. Tais danos são caracterizados como manifestações patológicas, estudados pela ciência e tecnologia das construções, conhecidos como Patologia das Construções.

Mehta e Monteiro (2008) destacam os processos que afetam a durabilidade das estruturas de concreto, diferenciados entre químicos e físicos. Processos físicos incluem desgaste superficial, temperaturas extremas e fissuração, devido à pressão interna causada pela cristalização de sais nos poros. Os efeitos químicos deletérios incluem lixiviação da pasta de cimento por soluções ácidas, reações expansivas envolvendo sulfatos, reação álcali-



agregados e corrosão das armaduras do concreto. No entanto, os autores esclarecem que essa distinção é puramente arbitrária; na prática os dois processos, físicos e químicos se sobrepõem.

A principal influência desses efeitos, desfavoráveis para a estrutura, trata-se dos mecanismos de transporte de fluidos através do concreto. Neville (1997) destaca três fluidos determinantes para a durabilidade do concreto: água, pura ou contendo íons agressivos; dióxido de carbono e oxigênio, que podem percolar nos poros da pasta cimentícia por processos de sorção, difusão, capilaridade, permeabilidade ou migração. A facilidade de maior ou menor deslocamento de fluidos comanda a durabilidade, logo, possui estreita relação com a compacidade do concreto.

Tratando-se de concreto armado, o aço é o material mais sensível ao ataque do meio ambiente, portanto, deve ser protegido pelo cobrimento de concreto e pela camada passivadora ao seu redor. Essas camadas protetoras possuem características variáveis ao longo do tempo (MEDEIROS et al., 2011). A perda de estabilidade da camada passivadora pode induzir no processo de corrosão da armadura, quando ocorre a penetração de substâncias agressivas, que atuam, conforme Bakker (1988), através dos seguintes mecanismos:

- A carbonatação do concreto, quando o ambiente possui certo nível de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que reduz o pH do concreto a níveis insuficientes para manter o estado passivo das armaduras, produzindo a corrosão generalizada;
- A presença do agente íon cloreto, em quantidade suficiente para atingir localmente a camada passivadora de concreto, produzindo a corrosão localizada (pites);
- A combinação destes dois fatores.

Medeiros et al. (2011) esclarecem que medidas tomadas posteriormente à execução do concreto armado, de manutenção e proteção, podem garantir a vida útil exigida pela sociedade e pelo usuário, no entanto, do ponto de vista econômico, são menos convenientes que medidas tomadas em níveis de projeto e dosagem de concreto.

### 3.1.1 Diferenças entre despassivação e corrosão

O concreto protege o aço de duas maneiras, uma proteção física, separando o aço do contato direto com o meio externo e, também, uma proteção química, pois o concreto apresenta um pH alto. A alta alcalinidade concede uma proteção ao aço interno, chamada de

passivação, por meio de reação lenta de deposição de uma película de óxidos sobre a superfície metálica. Esta camada fina se mantém estável quando mantido o pH, tornando-se o principal elemento de proteção contra corrosão (POURBAIX, 1987 apud CASCUDO E CARASEK, 2011).

De acordo com Helene (1986), a película protetora é resultado da combinação da ferrugem superficial do aço  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  com hidróxido de cálcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , conforme a equação 2:



A despassivação da armadura consiste na alteração das condições internas junto à armadura, pela ação de um agente externo agressivo, que penetra para o interior do concreto. Despassivada a armadura, a corrosão ocorrerá se as seguintes condições estiverem presentes (MEHTA E MONTEIRO, 2008):

- **Eletrólito:** deve existir água no interior do concreto para este atuar como Eletrólito, capaz de transportar os íons das reações de corrosão.
- **Diferença de potencial elétrico:** deve existir uma diferença de potencial elétrico (ddp) entre duas regiões da armadura.
- **Presença de oxigênio:** completa as reações de transformação de ferro metálico em hidróxido de ferro (corrosão).

A corrosão não ocorrerá caso alguma das condições não seja atendida, ou desenvolverá em velocidades muito baixas, de maneira desprezível.

Tuuti (1982) explica que a vida útil é dividida em iniciação e propagação. Na iniciação ocorre a penetração do agente agressivo até a despassivação do revestimento, onde permite o início da corrosão das armaduras. O período de propagação apresenta corrosão ativa, que evolui até o limite disposto em norma. A presença de revestimentos ou pinturas que protejam a estrutura do ingresso de fluídos dificulta o processo de corrosão, pois reduz a percolação de fluídos.

### 3.2 Carbonatação

A carbonatação é um processo físico-químico, iniciado na reação de gases ácidos do ambiente com produtos alcalinos do concreto, estes oriundos das reações de hidratação do cimento. É um processo que progride lentamente, em que os gases, principalmente o gás

carbônico (CO<sub>2</sub>), penetram a partir da superfície externa para a interna. Ela ocorre naturalmente, e depende de diversos fatores (KAZMIERCZAK, 2005).

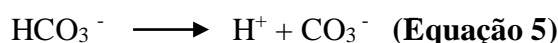
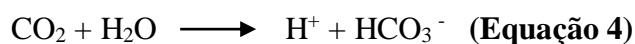
A carbonatação em si não causa deterioração do concreto, porém, seus efeitos são significativos. Com relação à durabilidade do concreto, a importância dessa reação está no fato da redução do pH da água dos poros da pasta de cimento, partindo de valores entre 12,6 e 13,5 para cerca de 9 (NEVILLE, 1997). Já Mehta e Monteiro (2008) apontam a redução da alcalinidade de valores superiores a 12,5 para valores inferiores a 8,5 após as reações de neutralização. A redução no pH altera as condições de estabilidade química da película passivadora da armadura, expondo esta à patologias, como a corrosão.

Neville (1997), Mehta e Monteiro (2008) e outros autores descrevem as reações do clínquer, principal componente do cimento, com a água. Basicamente, há formação de silicatos (C-S-H), aluminatos (C-A-H), sílicoaluminatos (C-A-S-H) de cálcio hidratado, produtos insolúveis da reação de hidratação do cimento e, ainda, hidróxido de cálcio.

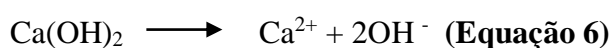
De acordo com Helene (1986), os produtos resultantes da hidratação do cimento no concreto, em especial o hidróxido de cálcio, reagem com o gás dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, que avança progressivamente no interior do concreto, e precipitam como carbonato de cálcio CaCO<sub>3</sub> na presença de umidade H<sub>2</sub>O. A Equação 3 resume esse processo:



Ou seja, o hidróxido de cálcio livre vai sendo dissolvido, à medida que a frente de carbonatação avança. Taylor (1997) descreve as etapas dessa reação de neutralização: primeiramente, há dissolução do CO<sub>2</sub> na solução do poro da pasta de cimento, conforme equações 4 e 5:



Da mesma maneira, o hidróxido de cálcio, componente formado na hidratação do cimento, também é dissolvido na presença de umidade (H<sub>2</sub>O) na solução do poro, como demonstra a equação 6:



Posteriormente, ocorre uma reação entre os íons resultantes das dissoluções descritas, conforme equação 7:

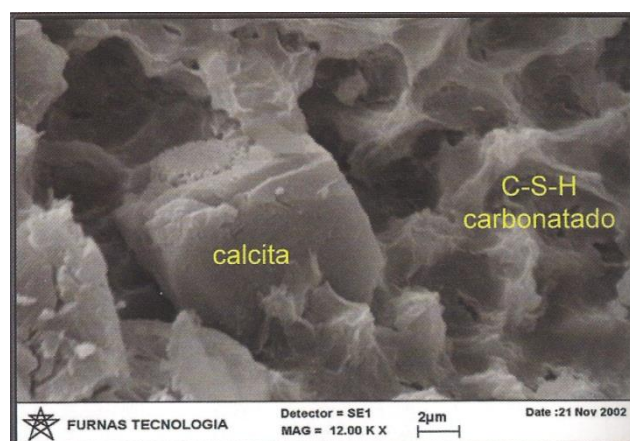


Desta maneira, forma-se o carbonato de cálcio, porém, a carbonatação pode ocorrer com outros produtos do cimento hidratado, como C-S-H, NaOH e KOH. A formação a partir do hidróxido de cálcio é mais relevante, devido, principalmente, à rapidez com que este reage com o gás carbônico (CASCUDO E CARASEK, 2011).

### 3.2.1 Alterações microestruturais do concreto

Neville (1997) atenta para a alteração física da pasta de cimento ao nível microestrutural. A precipitação de carbonato de cálcio reduz a porosidade total, com o preenchimento e colmatação dos poros. A velocidade da frente de carbonatação será alterada, dessa forma, decrescendo sob uma determinada *taxa*, influenciada por outros fatores.

Nesse aspecto, Cascudo e Carasek (2011) citam alguns detalhes quanto às alterações físicas e de microestrutura da pasta de cimento. Quando a carbonatação se dá através do silicato de cálcio hidratado (C-S-H) de maneira significativa, como pode ser visto pela figura 9, ocorre redução da porosidade total, todavia, os poros mais finos dentro da faixa dos poros capilares aumentam. Isso pode ocorrer em casos de carbonatação de longa data ou em método de ensaio acelerado, verificados pela alta taxa de gás carbônico ambiental, ou ainda, tempo prolongado de exposição.



**Figura 9 - Imagens por microscopia eletrônica de varredura de C-S-H carbonatado (CASTRO, 2003).**

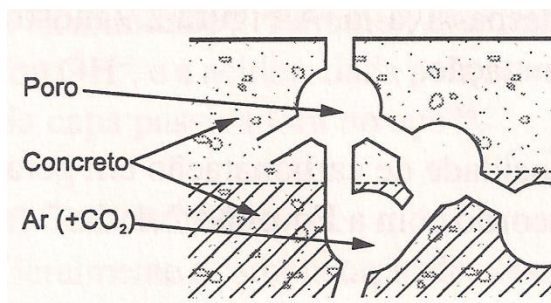
Os autores apontam ainda alterações na dureza superficial do concreto, na menor movimentação de umidade e maior resistividade elétrica. O concreto ainda sofre maior retração resultante da carbonatação, apesar da variação volumétrica dos componentes das reações. Isto é explicado por dois mecanismos:

- 1 – perda de moléculas de água na reação principal de carbonatação;
- 2 – dissolução do hidróxido de cálcio em regiões onde está sob tensão e precipitação de  $\text{CaCO}_3$  em espaços com menor tensão.

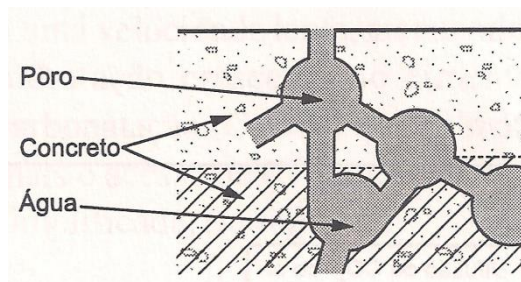
### 3.2.2 Mecanismos de transporte do $\text{CO}_2$ para o interior do concreto

O concreto é um material de estrutura bastante complexa, com uma grande variedade de fases, com materiais de diversas propriedades. O transporte de fluídos e materiais no concreto depende principalmente de fatores relacionados com a porosidade: distribuição do tamanho de poros, conexão e tortuosidade entre estes. A condição da fase aquosa dos poros do concreto também é relevante, pois rege a dissolução dos compostos do cimento e agentes como o gás carbônico (NEPOMUCENO, 2005).

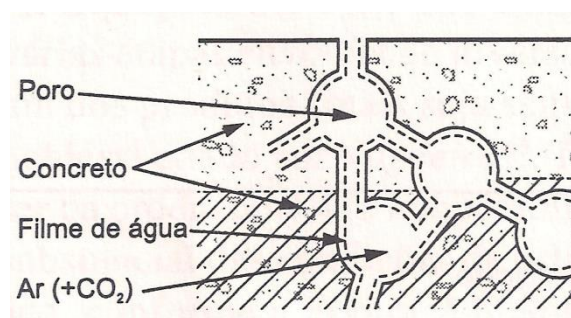
Segundo Neville (1997), a interação entre os fluidos ambientais e o interior do concreto depende do estado de saturação dos poros. Ou seja, se os poros estiverem totalmente secos ou saturados (figuras 10 e 11, respectivamente), a difusão dos gases não ocorre pela falta ou excesso de água. O fenômeno ocorre com máxima intensidade quando os poros estão parcialmente saturados (figura 12). Desse modo, conclui-se que, em ambientes sujeitos a exposição de sol e chuvas intensas, a carbonatação é reduzida.



**Figura 10 - Representação do concreto com poros secos.**  
(CASCUDO, 1997).



**Figura 11 - Representação de poros totalmente saturados (CASCUDO, 1997).**



**Figura 12 - Concreto com UR normal do ambiente (CASCUDO, 1997).**

Ainda, o autor explica que o mecanismo de transporte no concreto é dominado, além da configuração dos poros e a porcentagem preenchida com água, pelos fatores ambientais, como temperatura, umidade e ventos, condicionantes do processo. Os fatores ligados à dosagem e à execução - relação água/aglomerante, tipo de cimento, adições, condições de cura - relacionam-se com a dificuldade ou a facilidade dos agentes agressivos penetrarem no concreto.

Entre os principais mecanismos de transporte que podem ocorrer no concreto, a difusão é o mais preponderante no transporte do  $\text{CO}_2$  para o seu interior. Quando se têm poros em condições de transporte, ou seja, parcialmente saturados de água intersticial, o mecanismo ocorre ao transportar o íon carbonato ( $\text{CO}_3$ ) (CASCUDO E CARASEK, 2011). A difusão de dióxido de carbono rege a profundidade carbonatada, esta utilizada como parâmetro de avaliação da carbonatação.

Com o avanço da carbonatação, a capa de passivação é desfeita, e o aço pode ser corroído, tal como se estivesse ao ar sem proteção. Porém, o concreto possui umidade absorvida que, em contato com o aço, torna-se um agravante (CASCUDO, 1997).

### 3.2.3 Modelos de previsão da vida útil

Parcela significativa da comunidade técnico-científica mundial demonstra interesse na previsão da vida útil das estruturas, através de pesquisas com modelagens variando os diversos parâmetros interferentes dos fenômenos de degradação (HELENE,1993). Foram desenvolvidos métodos em previsão de vida útil das estruturas de concreto. Clifton (1991) classifica-os: (i) estimativas baseadas em experiências anteriores; (ii) baseadas na comparação de desempenho; (iii) baseadas em ensaios acelerados; (iv) métodos estocásticos e teoria de confiabilidade; e (v) métodos determinísticos baseados nos processos de degradação. Já Helene (1997) classificou em quatro métodos, de maneira semelhante: (i) baseado em experiências anteriores; (ii) baseados em ensaios acelerados; (iii) através de métodos determinísticos; e (iv) através de modelos probabilísticos, apresentados a seguir:

- Baseado em experiências anteriores

Trata-se da primeira tentativa de previsão de vida útil, onde é feito o resgate dos dados de projeto de obras já construídas, que demonstraram bom desempenho ao longo dos anos. Dessa forma, servem de referência na construção de novas estruturas.

- Baseados em ensaios acelerados

São feitos ensaios em laboratório para simular situações de exposição. Há uma carência normativa referente à padronização dos procedimentos de ensaio de deterioração, em particular, ensaio de carbonatação, onde há uma variedade nas condições de exposição. A variação dos parâmetros necessários para provocar a aceleração dos danos pode vir a distorcer os resultados obtidos.

- Através de métodos determinísticos

Estes métodos consideram estudos de transporte de fluídos através da rede de poros do concreto, que percorrem até chegar à armadura e iniciar a deterioração. São análises com determinado nível de incerteza, pois consideram algumas variáveis constantes ao longo do tempo, com intuito de simplificar as deduções.

O modelo para previsão de vida útil de Tuuti (1982) tem grande aceitação (equação 8). Para desenvolver seu modelo, o autor supõe que o coeficiente de difusão do CO<sub>2</sub> é igual ao do O<sub>2</sub>, devido às simplificações práticas, embora deixe claro que não existe equivalência perfeita.

$$e = K_{CO_2} \cdot t^n \quad \text{(Equação 8)}$$

onde:

$e$  = profundidade carbonatada em mm;

$K_{CO_2}$  = coeficiente de carbonatação expresso em mm/ano<sup>0,5</sup>;

$t$  = tempo em anos;

$n$  = expoente variável dependente das condições de umidade, pode variar de 0,25 (ambientes externos expostos aos ciclos de molhagem e secagem) a 0,50 (ambientes internos abrigados).

- Através de modelos probabilísticos

Muitas variáveis envolvidas não são constantes no tempo, portanto, deve-se considerar o concreto sob condições de incertezas. As teorias de confiabilidade dão margem de segurança ao considerar a aleatoriedade das características dos materiais empregados e dos fatores ambientais (ANDRADE, 2001).

Conforme Possan (2010), os princípios inseridos para a estimativa de vida útil são similares aos adotados no projeto de estruturas de concreto, com uso de distribuições normais ou Gaussianas para as ações agressivas, e lognormal ou normal para as resistências da estrutura de concreto.

#### 3.2.4 Métodos de ensaio de carbonatação

Diversas são as técnicas para avaliar a carbonatação em estruturas de concreto. Pode ser tanto em laboratório, através de métodos, quanto *in situ*, com extração de amostra.

Para a aplicação de métodos determinísticos, Neville (1997) orienta manter condições estáveis de exposição do concreto. A expressão com raiz quadrada do tempo (equação 8) não se aplica a estruturas com ciclos de molhagem/secagem. Portanto, independentemente do método de obtenção de amostra aplicado, deve haver cuidados com as condições de uso, análise e aplicação de equações.

Atualmente, a ABNT estuda a elaboração de normas relativas aos ensaios de carbonatação. Para casos de ensaios acelerados em laboratório, há indução da carbonatação em corpos de prova em ambientes condicionados. Para tanto, deve-se pré-condicionar as amostras antes do início do ensaio, ou seja, antes de submeter o concreto ao dióxido de carbono. Este pré-condicionamento, ou sazonalização, apresenta duas etapas:

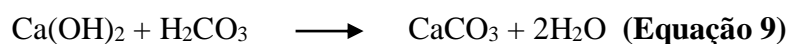
- 1 – pré-secagem;
- 2 – redistribuição da umidade uniformemente no corpo de prova.

O procedimento mais utilizado é o TC 116-PCD da RILEM (1999) – *Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, Systèmes de Construction et Ouvrage*.



O ensaio baseia-se na exposição das amostras, já em condições padronizadas de umidade, em uma câmara com temperatura e concentração de CO<sub>2</sub> controladas. Cascudo e Carasek (2011) expõem a grande variação entre pesquisas nacionais, com valores de CO<sub>2</sub> de 3% a 100% do ambiente. As temperaturas variam de valores ambientais ( $\cong 20^{\circ}\text{C}$ ) a  $60^{\circ}\text{C}$ , além da própria variação da umidade relativa do ambiente exposto, entre 50% a 80%.

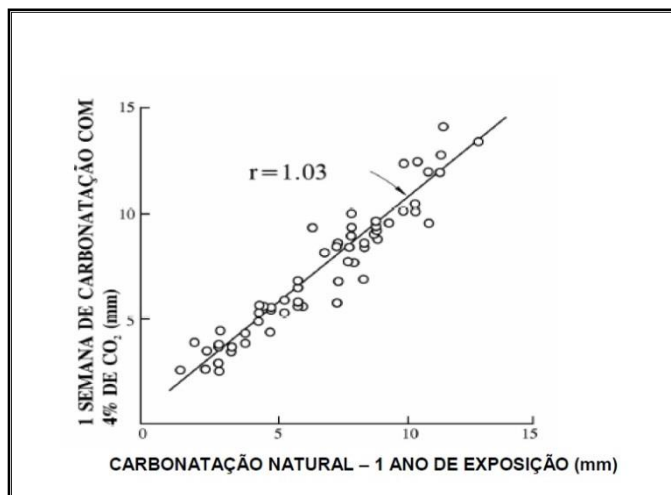
Todavia, a utilização de teores elevados de gás carbônico nos ensaios acelerados pode alterar a microestrutura da pasta carbonatada. Conforme Mehta e Monteiro (2008), quando a velocidade de carbonatação é alta (consequência da concentração de CO<sub>2</sub>), a reação entre o hidróxido de cálcio e dióxido de carbono poderá tornar-se instável, pela geração de ácido carbônico e, conseqüentemente, na transformação do carbonato de cálcio (insolúvel) em bicarbonato de cálcio (solúvel), conforme equações 9 e 10:



Para o procedimento natural laboratorial, as amostras são expostas em ambientes cobertos e condições naturais de dióxido de carbono. Esta exposição exige mais tempo, e seus resultados podem ser relacionados com o método acelerado, conforme realizado recentemente por Tasca (2012). O autor realizou leituras de carbonatação de traços com 14 anos de idade, e relacionou com os resultados do ensaio acelerado, na concentração de 10% de CO<sub>2</sub> e  $23^{\circ}\text{C}$ , realizados por Vagheti (1999). Tasca (2012) constatou relações entre ensaio acelerado e natural de 1 (misturas com 25% de cinza de casca de arroz e misturas com 10% sílica ativa) a 3 (traços referência), dependentes do traço, pois a reserva alcalina é variável entre traços de referência e misturas binárias e ternárias. Análises feitas por Isaia et al. (2002) dos mesmos traços estudados por Tasca (2012), porém, nas idades naturais (concentração de CO<sub>2</sub> ambiental, em torno de 0,003%) de 0,5, 1 e 2 anos, mostram que a relação entre os ensaios se aproxima da proporção  $1.\text{semana}^{-0,5} = 1.\text{ano}^{-0,5}$  em média, para teores de pozolanas iguais ou inferiores a 25%. Tasca (2012) constatou, portanto, que à medida que a idade dos corpos de prova aumenta, os coeficientes de carbonatação natural tendem a se estabilizar, e conseqüentemente, aumentam a relação entre os ensaios.

O estudo de Ho e Lewis (1987) é dado como referência. Nele, é feita uma correlação entre a profundidade de carbonatação de ensaio acelerado e natural de concretos com e sem adição de cinza volante, na proporção de uma semana para cada ano de exposição (figura 13),

com concentração de CO<sub>2</sub> de  $4 \pm 0,5\%$ , temperatura 23°C e umidade relativa de 50%. Os autores chegaram a uma aproximação entre os resultados obtidos com 5 anos de exposição e cura em laboratório com os resultados obtidos após uma semana em câmara acelerada.



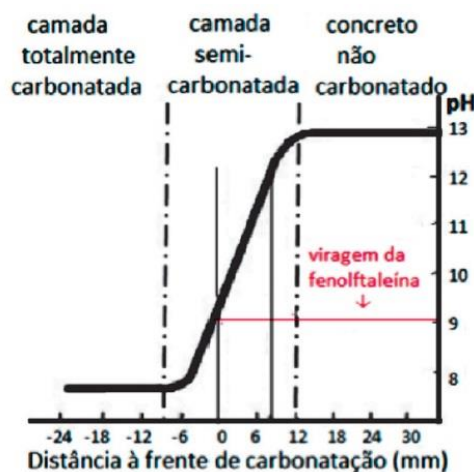
**Figura 13 - Relação entre resultados de ensaio de carbonatação acelerado e natural (HO e LEWIS, 1987).**

De maneira geral, a região carbonatada é medida através do emprego de indicadores de pH, como a fenolftaleína borrifada no concreto recém partido, de modo a distinguir e quantificar a distância carbonatada, como mostrado na figura 14. Esses indicadores são substâncias químicas que adquirem coloração violeta ao constatarem regiões de pH alcalino, nesse caso o concreto rico em hidróxido de cálcio (não carbonatado) (CASCUDO E CARASEK, 2011).



**Figura 14 - Concreto carbonatado com fenolftaleína**

Segundo Ollivier (1998), o ensaio colorimétrico aponta regiões totalmente carbonatadas, com pH abaixo de 8,5, pois faz-se uso do ponto de viragem da fenolftaleína de pH 9, como mostra a figura 15.



**Figura 15 - Frente de carbonatação conforme pH**  
(GONÇALVES e SALTA, 1996 apud PINA, 2009)

Na faixa de pH entre 8,3 e 10 há uma zona de transição em que pode ocorrer corrosão. A frente real onde inicia a carbonatação encontra-se além da região apontada pelo ensaio colorimétrico, em torno de 5 a 10 mm.

Existem outras técnicas para avaliação da carbonatação, além dos tipos de carbonatos formados e sua origem, com a intenção de compreender o fenômeno. Entre as técnicas mais utilizadas estão a termogravimetria e a difração de raios X.

De acordo com Kazmierczak (2005), na termogravimetria é retirada uma amostra de profundidade conhecida, moída e induzida a variação de temperatura, para que se detecte a perda de massa. Cada faixa de temperatura representa a decomposição térmica dos componentes do concreto, inclusive o carbonato de cálcio (605°C a 1000°C).

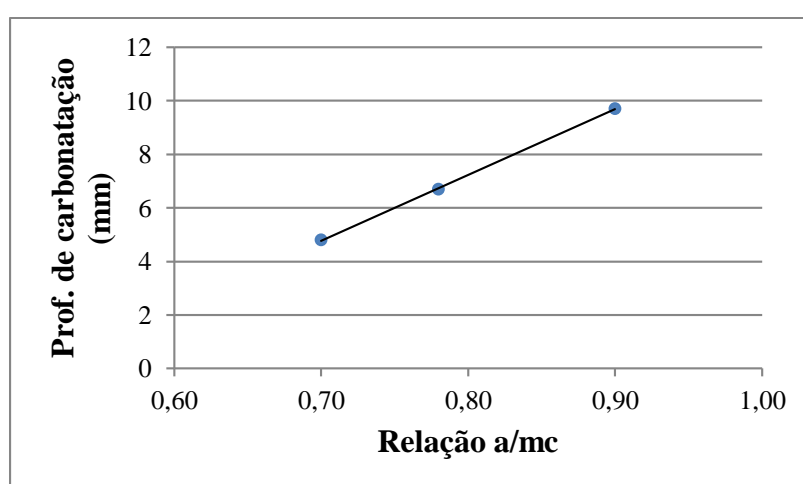
Já a difração de Raios X apresenta as fases cristalinas do concreto, com as correspondentes angulações de difração de cada cristal. O carbonato de cálcio é detectado sob as formas distintas: calcita, vaterita e aragonita (CASCUDO E CARASEK, 2011).

### 3.2.5 Fatores que influenciam a profundidade e a velocidade da carbonatação

Os principais fatores interferentes no processo de carbonatação são apresentados a seguir:

- Relação água/cimento

A relação água/aglomerante possui influência direta na carbonatação, pois determina a porosidade do concreto, ou seja, a facilidade com que o  $\text{CO}_2$  penetra nos poros. O fluxo de fluidos ocorre entre os poros capilares interconectados da pasta de cimento hidratada, e este fator é ligado à relação água/cimento e ao grau de hidratação do cimento (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Helene et al. (1999) constataram que concretos com cimento Portland CP II-F 32 apresentam maiores profundidades de carbonatação ao elevar-se a relação água/cimento (figura 16).



**Figura 16 - Profundidade de carbonatação ao variar relação a/c**  
(adaptado - HELENE et al. 1999).

- Tipo de cimento e adições

Neville (1997) informa que as adições minerais consomem a reserva alcalina, ou seja, conduz a um teor menor de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , em função das reações pozolânicas entre as adições minerais e o cimento. Esse fato proporciona uma carbonatação mais rápida. Em contrapartida, o autor evidencia que as adições minerais geram refinamento dos poros capilares e dos grãos, reduzindo a difusividade do concreto com a elevação da compacidade da estrutura cimentícia. Deve-se estudar qual desses dois efeitos opostos será preponderante. Dependerá de outros fatores, tais como: o tipo de adição utilizada, o teor desta adição, a relação água/aglomerante, e ainda a cura úmida. Andrade (2001) descreve essa inter-relação como efeito sinérgico das variáveis, ou seja, as propriedades do concreto relacionadas com a durabilidade devem ser analisadas de um modo global, não isoladamente.

- Concentração de  $\text{CO}_2$  no ambiente

Evidentemente, o fenômeno é mais agressivo quando a concentração de CO<sub>2</sub> é mais elevada. A concentração pode variar entre os ambientes, como rural, urbana, industrial e locais fechados, como túneis e garagens (FIGUEIREDO, 2005). Neville (1997) informa dados típicos de concentração de dióxido de carbono para os diferentes ambientes, em destaque rural, urbano e industrial: 0,03%; 0,3% e 1,0% respectivamente.

- Cura e compactação do concreto

A cura influencia na hidratação do concreto, e, portanto, na formação da microestrutura. Quanto maior a hidratação, melhor densificação da matriz cimentícia e menor facilidade de avanço de gás carbônico. Consegue-se maior hidratação pelo maior tempo de cura e eficiência do método (CASCUDO, 1997; POSSAN, 2010).

- Umidade

A umidade do ambiente afeta a carbonatação do concreto significativamente, pois a difusão do CO<sub>2</sub> no concreto é função do teor de umidade nos poros do material. Na prática, relacionar diretamente a umidade do ar com a profundidade carbonatada em função do tempo é muito complexo, pois o ambiente costuma sofrer ciclos de elevação e redução de umidade. Porém, para ensaios em laboratório, sabe-se pela literatura atual que a umidade ideal para promover a carbonatação está no intervalo de 60% e 85% (CASCUDO E CARASEK, 2011).

- Temperatura

A temperatura tem ação de catalisação de reações químicas, e de maneira geral, observa-se o aumento da velocidade de reações conforme a temperatura aumenta, segundo a lei de Arrhenius, isto é, para cada 10°C de acréscimo de temperatura a velocidade de reação duplica. A explicação se dá pela maior mobilidade iônica com acréscimo de temperatura (CASCUDO E CARASEK, 2011). Porém, Papadakis et al. (1991) realizaram ensaios acelerados de carbonatação e verificaram pouca variação na velocidade da reação ao variar a temperatura entre 20°C e 45°C, ou seja, em temperaturas ambiente usuais.

- Resistência à compressão

Para atingir maiores resistências, é usual buscar a redução da relação a/c, logo, menor porosidade do concreto. Dessa forma, tal fator influencia no transporte de substâncias agressivas (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

### 3.2.6 Controle da Carbonatação

Com o intuito de neutralizar a carbonatação, há dois métodos usuais. O primeiro trata-se da utilização de produtos aplicados à superfície como uma película superficial protetora.

Podem ser tintas, vernizes e argamassas cimentícias modificadas, que apresentem elevado coeficiente de resistência à penetração de CO<sub>2</sub> (KAZMIERCZAK, 2005).

Kazmierczak (2005) informa sobre a grande evolução da indústria química atualmente, incluindo mudança nas composições e criação de novos produtos. O sucesso na adoção de um sistema de proteção superficial contra carbonatação depende da especificação correta além da qualidade da aplicação.

Kazmierczak e Helene (1995) utilizaram diferentes sistemas de proteção e avaliaram a carbonatação, seguiram as orientações de cada fabricante e estimaram o desempenho para uma vida útil de 50 anos. Adotaram um revestimento de 25mm, e toleraram 20mm para a carbonatação, avaliada pela variação de massa e aspersão de fenolftaleína. A exposição foi de 20±2°C e de 70 a 80% de UR, em um ensaio acelerado de 20min com concentração de 100% de CO<sub>2</sub>. O melhor resultado apresentado foi da resina de base poliuretânica. O estudo dos autores mostrou que a estimativa de profundidade de carbonatação do concreto após 50 anos de exposição com proteção de verniz acrílico, é em torno de 2 a 3 vezes inferior ao concreto de referência. Os autores ressaltam que os resultados podem variar muito conforme método de aplicação: tempo de repintura, número de demãos, espessura da película final de proteção.

Moreira et al. (2006) estudaram a redução de permeabilidade do concreto ao aplicar cobertura de verniz de silicone, revestimento acrílico e de resina epóxi. Obtiveram resultados de absorção (capilaridade e imersão), porosidade e permeabilidade à água e ao oxigênio, que mostraram que o revestimento acrílico apresentou resultados intermediários entre os três tipos de cobertura. No ensaio de porosidade, por exemplo, o revestimento acrílico reduziu em média 72% em relação à referência.

Já Aguiar et al. (2005) observaram uma redução na absorção de água pelo ensaio de capilaridade de cerca de 61%, e redução na permeabilidade ao oxigênio de 42% nas amostras com pintura acrílica.

De acordo com os fabricantes, a durabilidade de uma tinta acrílica aplicada sobre concreto, em ambiente coberto, varia de 2 a 10 anos. Park (2008) mostra em seu estudo que a repintura periódica permite um bom desempenho da proteção superficial contra a carbonatação. Seus ensaios compararam os resultados de carbonatação num período de 30 anos para concretos sem pintura, uma pintura apenas, duas, três e seis pinturas ao longo dos 30 anos.

O segundo método faz-se útil quando a carbonatação está avançada, já atingiu a armadura, e o uso de película protetora não será eficaz. Trata-se da realcalinização, que consiste em elevar o pH do concreto por meio de substâncias alcalinas introduzidas pelos

poros. Conforme Cascudo e Carasek (2011), esse método pode ser realizado por difusão ou por migração iônica:

- Por difusão, é aplicado um revestimento de extrema alcalinidade sobre a superfície carbonatada. Os álcalis serão transportados para o interior do concreto lentamente, por difusão.
- Migração iônica ocorre por processo eletroquímico. É aplicada uma corrente elétrica entre um ânodo (tela fixada ao concreto externamente) e o cátodo interno (armadura). Os íons positivos se movem no sentido ânodo – cátodo, produzindo  $\text{OH}^-$  na armadura, reforçando sua alcalinidade.

## CAPÍTULO IV

### 4 METODOLOGIA

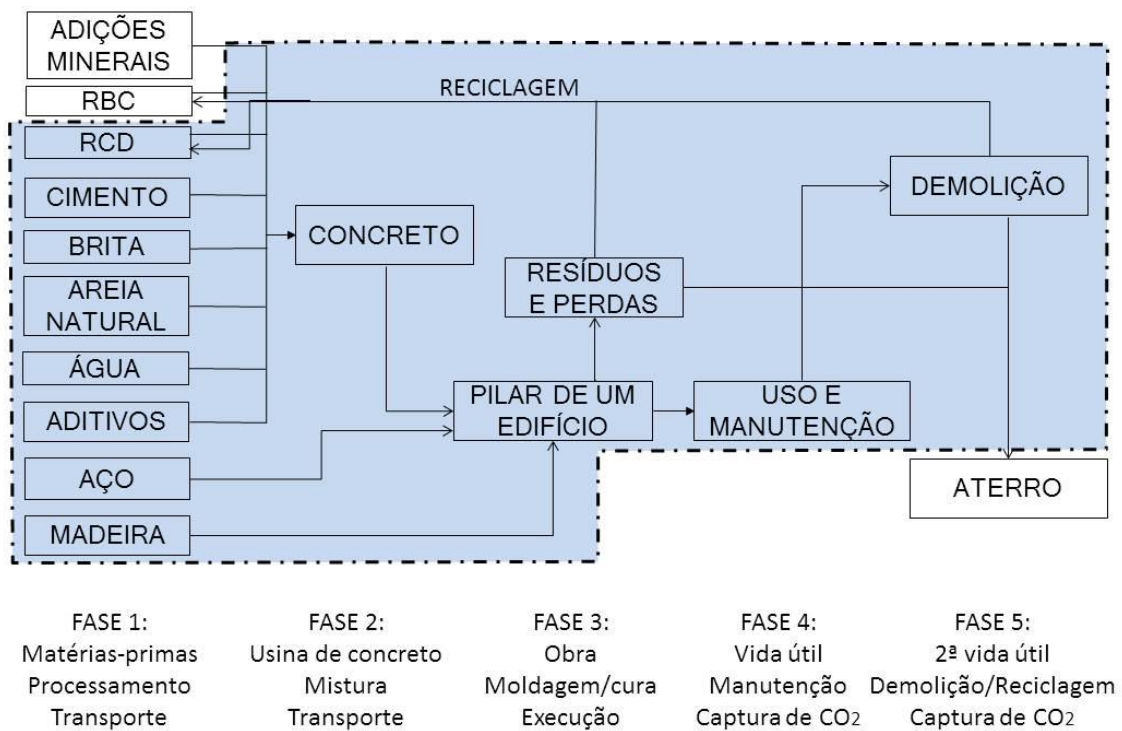
Tendo em vista que a pesquisa em questão está inserida em um projeto que envolve quatro dissertações, que, em conjunto, englobam o ciclo de vida completo da unidade funcional em estudo ( pilar de concreto), a metodologia básica da presente dissertação constituiu-se na abordagem das fases de uso/manutenção e descarte (do portão ao túmulo), entretanto valeu-se também dos resultados da fase berço-portão, por meio da dissertação desenvolvida por Silva (2014), no que foi necessário para apresentar o ciclo completo berço-túmulo, no que se refere a durabilidade frente a carbonatação. Foi necessário determinar a durabilidade dos traços estudados, para posteriormente, aplicar a análise do ciclo de vida e de custo. Portanto, a metodologia seguiu as quatro etapas de uma ACV: objetivo e escopo; análise do inventário; avaliação dos impactos e interpretação dos resultados, segundo a norma NBR ISO 14040:2014.

#### 4.1 Objetivo e escopo

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar e comparar fatores ambientais e econômicos de alternativas de pilar de concreto armado fictício disposto em uma região próxima à Universidade Federal de Santa Maria - RS. O pilar de concreto armado situa-se em posição central do primeiro andar de uma edificação composta por oito pavimentos, o primeiro deles composto de pilotis. Ou seja, o pilar suporta as cargas provenientes da construção, está em situação coberta e exposto ao ar. A figura 17 ilustra o escopo dessa pesquisa. As siglas RBC e RCD representam resíduos de bloco de construção e resíduos de construção e demolição. O primeiro não fez parte desta pesquisa, pois não envolveu a reciclagem de blocos de revestimento e/ou pavimentos em concreto. Resíduo de construção e demolição (RCD) foi um dos materiais finais obtidos após a fase de demolição, portanto, está incluído no escopo desta pesquisa.

As variáveis de estudo foram pré-estabelecidas, com a utilização de três tipos de cimento: CP II-Z 32 (composto), CP IV 32 (pozolânico) e CP V-ARI (alta resistência inicial); e duas resistências características:  $f_{ck}$  30 e 50 MPa. Portanto, foram seis as possibilidades de execução do pilar de concreto, conforme tabela 3.





**Figura 17 – Sistema de produto e fronteiras do sistema**

**Tabela 3 - Siglas adotadas para os traços estudados**

Cimento	Resistência Característica (MPa)	Sigla adotada
CP II-Z	30	II30
CP II-Z	50	II50
CP IV	30	IV30
CP IV	50	IV50
CP V-ARI	30	V30
CP V-ARI	50	V50

#### 4.1.1 Unidade funcional

A unidade funcional de estudo, portanto, é um pilar de concreto armado. Foi realizado o dimensionamento do pilar conforme recomendações da NBR 6118:2014 - Projetos de estruturas de concreto – Procedimento (ver Apêndice A). Definiu-se a classe de agressividade ambiental II - moderada, pois se trata de região urbana. O cobrimento adotado foi de 25mm, pois supôs-se agressividade mais branda em local coberto na região de Santa Maria. Os

esforços solicitantes foram estimados com o auxílio do software Eberick V6 (ALTOQI, 2013), apresentados na tabela 4.

**Tabela 4 - Esforços solicitantes e definições de projeto**

Parâmetro	Valor
Esforço normal de cálculo ( $N_d$ )	1.200 kN
Resistência característica à compressão do concreto ( $f_{ck}$ )	30 e 50 MPa
Momento fletor no eixo vertical y da seção do pilar ( $M_{yd}$ )	55 kN.m
Momento fletor no eixo horizontal x da seção do pilar ( $M_{xd}$ )	78 kN.m
Cobrimento da armadura	25 mm
Altura do pilar	2,75 m

O dimensionamento foi realizado com o auxílio do software Oblíqua 1.0 da UFPR (CESEC, 2014). As características dos pilares são mostradas na tabela 5.

**Tabela 5 - Dimensionamento e consumo de materiais**

	Pilar com $f_{ck}$ 30	Pilar com $f_{ck}$ 50
Seção transversal (cmxcm)	25x45	20x40
Volume de concreto (m <sup>3</sup> )	0,309	0,220
Área de forma (m <sup>2</sup> )	3,575	3,025
Espaçamento de estribos	Φ5 mm a cada 12 cm	
Peso dos Estribos (kg)	4,43	3,72
Armadura longitudinal (un.)	10 Φ10mm	
Peso das barras longitudinais (kg)	16,97	
Peso total de aço (kg)	21,40	20,69

#### 4.1.2 Materiais

Para calcular o volume de materiais do concreto, foi realizado um estudo de dosagem com agregados da região. Foram empregados materiais tais como: agregado miúdo com granulometria entre 4,75 e 0,15mm e agregado graúdo com granulometria entre as peneiras 19 e 4,75 mm, lavados, peneirados e estocados em local apropriado, água e aditivos químicos redutores de água. Os materiais passaram por ensaios de caracterização, conforme listado a seguir.

a) **Aglomerantes hidráulicos:** utilizaram-se os cimentos CII-Z-32 – Itambé, Brasil (referente à norma NBR 11578:1997), CIII - Cimpor, Brasil (referente à norma NBR

5736:1999) e CPV-ARI - Itambé, Brasil (conforme norma NBR 5733:1991). Foram realizados os ensaios:

- i. Composição química completa: perda ao fogo, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, SO<sub>3</sub>, S, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O e resíduos insolúveis (realizada pela Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP);
- ii. Massa específica absoluta, utilizando o frasco volumétrico de Le Chatelier, seguindo as diretrizes da norma NBR NM 23 (ABNT, 2001);
- iii. Determinação da finura, seguindo a NBR 11579 (ABNT, 2013);
- iv. Determinação da água da pasta de consistência normal, seguindo a NBR NM 43 (ABNT, 2003);
- v. Tempo de início e fim de pega utilizando o aparelho de Vicat, seguindo a NBR NM 65 (ABNT, 2003);
- vi. Resistência à compressão axial da argamassa normal aos 3, 7 e 28 dias, seguindo a NBR 7215 (ABNT, 1997);
- vii. Dimensões características equivalentes a 10% e 90% de partículas passantes (norma alemã DIN 66145, realizada pela ABCP);
- viii. Granulometria por difração a laser (realizada pela ABCP).

Os resultados da composição química dos cimentos utilizados estão na tabela 6, com os respectivos limites estabelecidos pelas normas. Observa-se a inconformidade do cimento CPII-Z na composição de resíduo insolúvel, do cimento CPIV no índice de perda ao fogo e anidrido carbônico, e do cimento CPV-ARI na composição de resíduo insolúvel.

**Tabela 6 - Caracterização química dos cimentos (% em massa)** (continua)

Composição química	CPII-Z	Limites (NBR 11578/97)	CPIV	Limites (NBR 5736/99)	CPV-ARI	Limites (NBR 5733/91)
Perda ao fogo - PF	5,15	≤ 6,5%	7,00	≤ 4,5%	3,08	≤ 4,5%
Dióxido de Silício total - SiO <sub>2</sub>	28,14	-	32,61	-	18,81	-
Óxido de Alumínio - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,14	-	8,79	-	4,75	-
Óxido de Ferro - Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,60	-	4,34	-	2,68	-
Óxido de Cálcio total - CaO	45,09	-	38,12	-	60,88	-
Óxido de Magnésio - MgO	5,18	≤ 6,5%	5,04	≤ 6,5%	5,22	≤ 6,5%
Anidrido sulfúrico - SO <sub>3</sub>	2,23	≤ 4,0%	1,97	≤ 4,0%	2,28	≤ 4,5%
Óxido de sódio - Na <sub>2</sub> O	0,13	-	0,20	-	0,18	-
Óxido de Potássio - K <sub>2</sub> O	1,26	-	1,39	-	0,89	-

(conclusão)

Composição química	CPII-Z	Limites (NBR 11578/97)	CPIV	Limites (NBR 5736/99)	CPV-ARI	Limites (NBR 5733/91)
Óxido de Titânio - TiO <sub>2</sub>	0,44	-	0,41	-	0,3	-
Óxido de Estrôncio - SrO	0,07	-	0,04	-	0,26	-
Pentóxido de Fósforo - P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,10	-	0,10	-	0,16	-
Óxido de Manganês - Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,06	-	0,10	-	0,04	-
Óxido de Cálcio livre - Cao (livre)	1,57	-	1,93	-	1,17	-
Resíduo insolúvel - RI	23,00	≤ 2,5%	34,27	-	1,19	≤ 1,0%
Anidrido Carbônico - CO <sub>2</sub>	4,99	≤ 5,0%	4,89	≤ 3,0%	2,27	≤ 3,0%

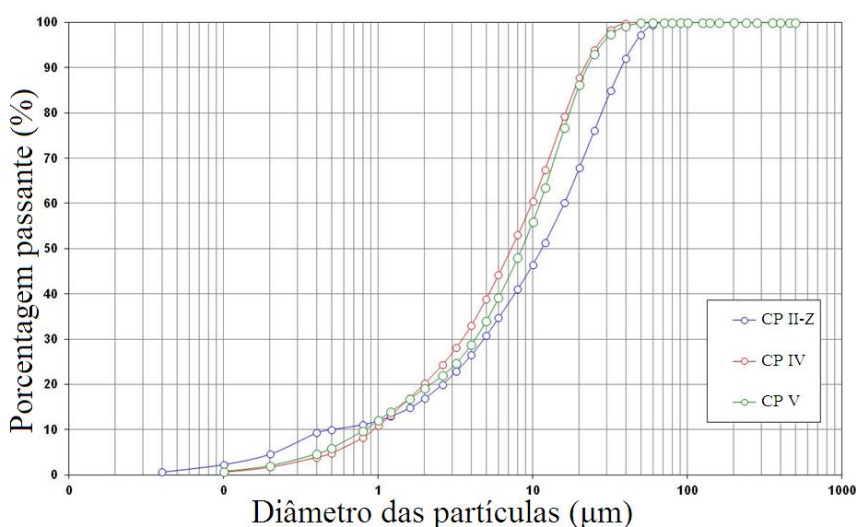
As caracterizações físicas dos cimentos estão dispostas na tabela 7 e os gráficos que mostram as granulometrias por difração a laser são apresentados na figura 18.

**Tabela 7 - Caracterização física dos cimentos**

Característica	Idade	CPII-Z	CPIV	CPV-ARI
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )		2,95	2,70	3,14
Índice de Finura #0,075 mm (% retida)		0,20	0,20	0,02
Consistência normal (%)		27,4	30,0	29,1
Início de pega (min)		200	223	154
Fim de pega (min)		239	264	191
Argamassa normal - Resistência à compressão axial (MPa)	3 dias	29,2	21,0	38,1
	7 dias	29,6	25,3	38,6
	28 dias	38,1	33,1	50,0
Dimensão média das partículas (µm)		11,41	7,27	8,50
Diâmetro abaixo do qual encontra-se 10% das partículas (µm)		0,51	0,93	0,83
Diâmetro abaixo do qual encontra-se 90% das partículas (µm)		37,32	21,60	22,38

Os índices de finura mostram que o CPV-ARI tem menor porcentagem de grãos superiores a dimensão 0,075 mm (peneira nº 200), apenas 0,02% em massa. O tempo de moagem é maior na fabricação deste cimento de alta resistência inicial, e o produto final é um aglomerante hidráulico mais fino em relação aos demais do mercado nacional. As curvas granulométricas dos cimentos CPIV e CPV-ARI são muito próximas e a curva do cimento CPII-Z abrange uma gama maior de diâmetros de partículas. Todos os três apresentam na sua composição grãos homogeneamente distribuídos. Observa-se que o cimento CPIV apresenta

menor massa específica porque a cinza volante apresenta valor menor que o do clínquer (2,3 kg/dm<sup>3</sup> e 3,1 kg/dm<sup>3</sup>, aproximadamente), com maior moagem para aumentar a resistência devido à sua menor reatividade. Assim, as dimensões médias das partículas e o diâmetro abaixo do qual encontram-se 90% das mesmas, apresentam teores menores que os dois outros cimentos. Esse fato é observado na figura 18, em que a curva granulométrica fica mais a esquerda dos demais cimentos a partir de grãos superiores a 1µm.



**Figura 18 - Análise granulométrica dos cimentos**

#### b) Agregados:

A areia média natural é proveniente do Rio Vacacaí, Santa Maria (RS). Já a pedra britada 01 diabásica é proveniente de Itaara (RS). Foram realizados os seguintes ensaios:

- i. Massa específica e aparente do agregado miúdo, através da determinação de volume e massa, seguindo as diretrizes estabelecidas na NBR NM 52 (ABNT, 2009);
- ii. Massa específica e aparente do agregado graúdo e absorção de água, determinados por massa e volume, seguindo a NBR NM 53 (ABNT, 2009);
- iii. Massa unitária e do volume de vazios de agregados, seguindo a NBR NM 45 (ABNT, 2006);
- iv. Ensaio de abrasão Los Angeles do agregado graúdo, seguindo a NBR NM 51 (ABNT, 2001);
- v. Índice de forma do agregado graúdo, seguindo a NBR 7809 (ABNT, 2008);

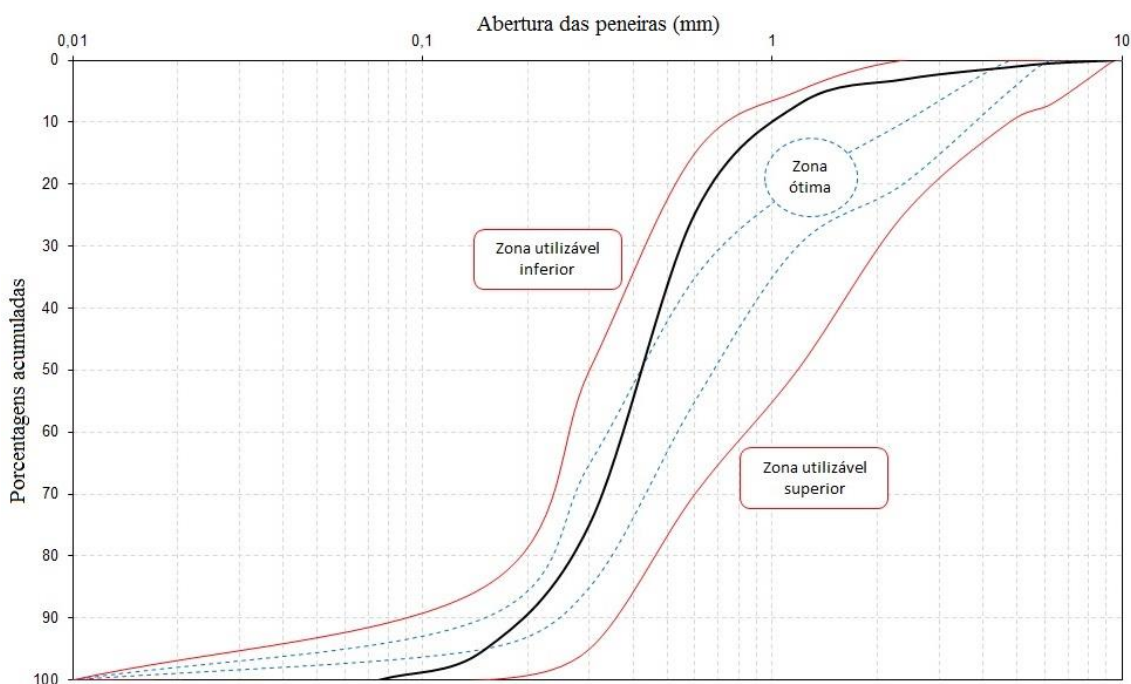
- vi. Composição granulométrica, pelo método da NBR NM 248 (ABNT, 2003);
- vii. Absorção de água do agregado miúdo, seguindo a NBR NM 30 (ABNT, 2001).

A tabela 8 apresenta a caracterização física dos agregados.

**Tabela 8 - Características físicas dos agregados**

Propriedades físicas	Agregado miúdo	Agregado graúdo
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,65	2,49
Massa unitária, (g/cm <sup>3</sup> )	1,70	1,41
Perda por abrasão L.A. (%)	-	11
Índice de forma	-	2,8
Módulo de finura	2,04	7,03
D. máx. característico (mm)	2,4	19
Absorção do agregado (%)	0,31	2,51

A figura 19 apresenta a curva granulométrica do agregado miúdo. A curva preta representa a granulometria da areia utilizada na pesquisa, as curvas externas representam os limites estipulados na norma NBR 7211 (2009), e as curvas tracejadas representam a região de granulometria ótima do agregado miúdo. Constata-se que a areia utilizada está dentro dos limites, apesar de não ter granulometria ótima.



**Figura 19 – Curva granulométrica do agregado miúdo**

Já a figura 20 apresenta a curva granulométrica do agregado graúdo, da mesma maneira, a curva preta representa a brita utilizada. As demais linhas representam as zonas que caracterizam a brita como 0 (B0, pó de brita), brita 1 (B1), brita 2 (B2), brita 3 (B3) ou brita 4 (B4), estabelecidas pela NBR 7211 (ABNT, 2009). A brita utilizada enquadra-se entre as britas 1 e 2.

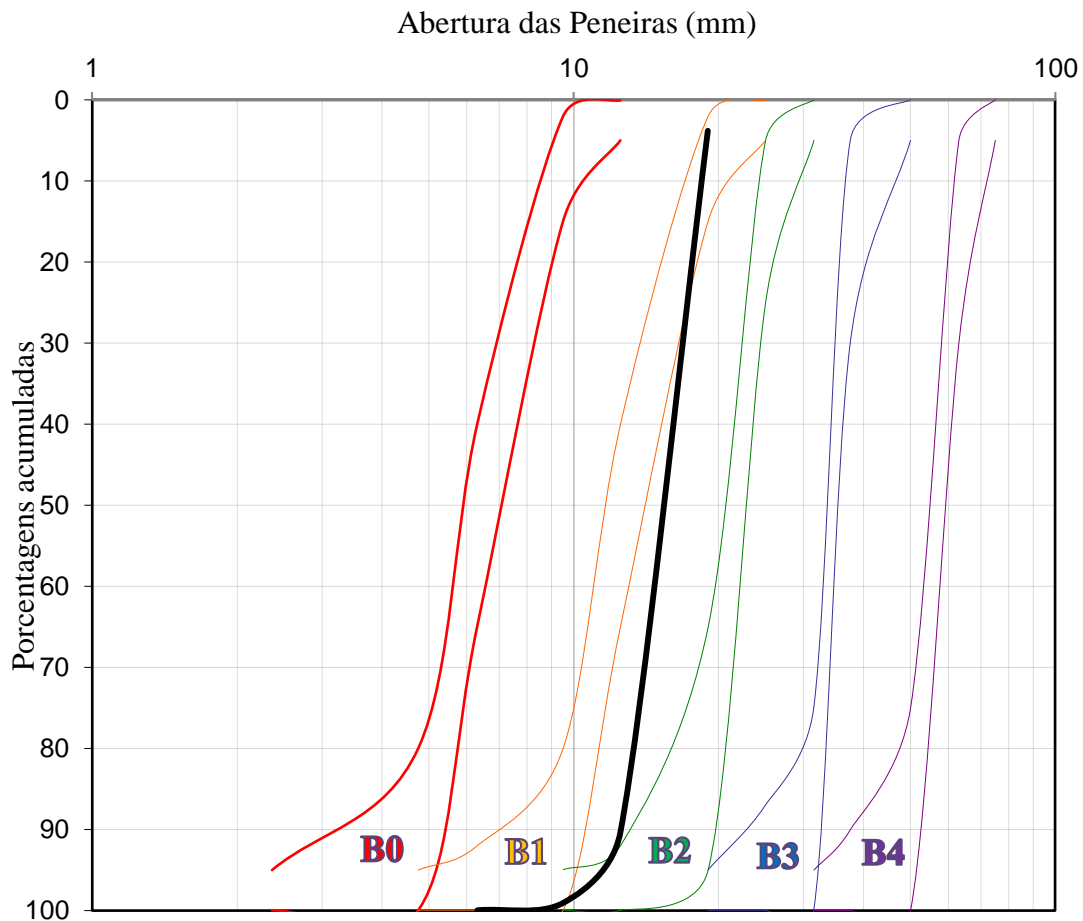


Figura 20 – Curva granulométrica do agregado graúdo

### c) Aditivos químicos redutores de água:

Foram utilizados um aditivo plastificante polifuncional (Muraplast FK 100) e um superplastificante a base de éter carboxilato (MC-PowerFlow 1180), ambos doados pela MC – Bauchemie Brasil Indústria e Comércio Ltda., para melhorar a trabalhabilidade. Foram caracterizados pelos seguintes ensaios:

- i. Densidade pelo método do picnômetro;

- ii. Valor de pH pelo pHmetro;
- iii. Compatibilidade com os cimentos CP II-Z, CP IV e CP V-ARI puros, através do ensaio do funil de Marsh com as três relações água cimento adotadas, 0,35, 0,475 e 0,65. Iniciou-se com 0,2% de aditivo, incrementos de 0,2% até pelo menos 50% acima da dosagem recomendada pelo fabricante. Os tempos de escoamento foram determinados após 5 e 60 minutos das misturas;
- iv. Desempenho dos aditivos para concreto, seguindo a NBR 11768 (ABNT, 2011).

Os valores de densidade, pH e porcentagem de sólidos dos aditivos estão na tabela 9.

**Tabela 9 - Características dos aditivos redutores de água**

	<b>Plastificante</b>	<b>Superplastificante</b>
Densidade (g.cm <sup>-3</sup> )	1,20	1,09
pH	8,3	6,7
Percentual de sólidos (%)	40	50

O teor ideal de aditivo para cada relação água/cimento nos três cimentos utilizados é obtido pelo ensaio do Funil de Marsh. O incremento no teor de aditivo reduz o tempo de escoamento da mistura até estabilizar. O teor referente ao ponto inicial da constância do tempo de escoamento é o teor ideal, ponto este denominado ‘ponto de saturação’.

Verificou-se que o ponto de saturação do aditivo plastificante é de 1% para o cimento CII-Z na relação água/cimento 0,475, e na relação água cimento 0,35 fez-se necessário o uso do aditivo superplastificante, que indicou um teor ideal de 0,8%. O cimento CIII não apresentou fluidez para teores menores que 0,8% de aditivo plastificante, com a relação água/cimento de 0,475. Já para o cimento CPV-ARI, o aditivo plastificante mostrou-se ineficaz nesta relação água/cimento, dessa forma, o aditivo superplastificante foi adotado no ensaio e obteve-se o teor ideal de 0,8%. Na relação água/cimento de 0,65 o tempo de escoamento permaneceu constante com o teor de 1% de plastificante com os três cimentos.

#### 4.1.3 Concreto

O estudo do concreto foi realizado em conjunto com os dados descritos na dissertação de Silva (2014), pertinentes ao período do *berço* ao *portão* por se tratar do mesmo projeto guarda-chuva. A dosagem foi elaborada segundo o método proposto por Helene e Terzian (1992), como trabalhabilidade, teor de aditivo plastificante ou superplastificante necessários,



tempo de mistura, curva de Abrams ( $f_c \times a/ag$ ). As relações a/c adotadas para os traços iniciais, devendo apresentar resultados que estivessem compreendidos dentro da faixa de resistência desejada, assim como, a trabalhabilidade especificada, adotando consistência pelo abatimento do tronco de cone em  $100 \pm 20$  mm. O teor água/materiais (H) foi determinado por tentativa, para cada aglomerante e considerando o uso de aditivos. O valor de H foi adotado constante em 8,22 para as três relações a/c. O desvio padrão inicial de dosagem foi  $s_d = 4,0$  MPa conforme a NBR 12655:2006, definindo as resistências respectivas de  $f_{c28} = 36,6$  MPa e  $f_{c28} = 56,6$  MPa aos 28 dias, para as resistências características de 30 e 50 MPa, respectivamente.

A moldagem de corpos de prova (CPs) seguiu-se conforme a NBR 5738:2003 e ensaiados de acordo com a NBR 5739:2007. Foram moldados seis CPs cilíndricos 10x20 cm nas relações água/cimento de 0,35; 0,475 e 0,65; para traçar a curva de Abrams de cada cimento. A relação água/cimento de 0,30 foi incluída para o concreto com CPIV, devido ao seu menor desempenho mecânico em relação aos demais. Obtiveram-se as médias da resistência à compressão axial aos 28 dias de três CPs, com desvio padrão máximo de 10%, e os demais foram descartados. Os resultados aos 28 dias, traço e abatimento obtido para a construção das curvas de Abrams estão na tabela 10. As curvas de Abrams com as respectivas equações estão apresentadas a seguir, na figura 21.

**Tabela 10 - Traços estudados, abatimento e resistências à compressão axial aos 28 dias**

<b>Cimento</b>	<b>a/ag</b>	<b>Traço unitário (c:a:b)</b>	<b>Aditivo (%)</b>	<b>Resistência média aos 28 dias (MPa)</b>	<b>Abatimento (mm)</b>
CP II-Z	0,350	1:1,14:2,12	0,4 (superpl.)	60,3	100
	0,475	1:1,90:2,88	-	41,3	80
	0,650	1:2,97:3,94	-	21,3	100
CP IV	0,300	1:0,83:1,82	0,6 (superpl.)	62,3	80
	0,475	1:1,90:2,88	-	32,7	80
	0,650	1:2,97:3,94	-	16,7	100
CP V-ARI	0,350	1:1,14:2,12	0,8 (plastif.)	77,3	80
	0,475	1:1,90:2,88	-	58,3	85
	0,650	1:2,97:3,94	-	35,3	110

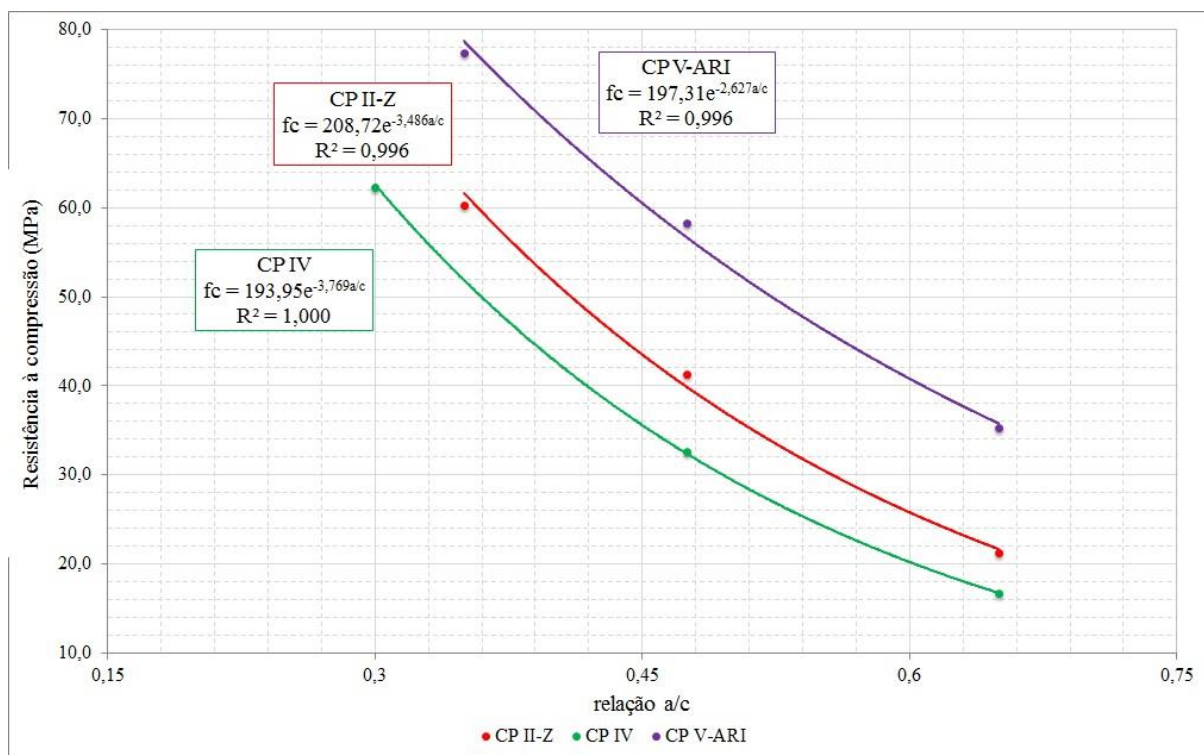


Figura 21 - Curvas de Abrams para os três cimentos

A partir da curva de Abrams obtiveram-se as relações a/c específicas para cada cimento (CPII-Z, CPIV e CPV-ARI) e cada resistência desejada (36,6 e 56,6 MPa), totalizando os seis diferentes traços desejados (tabela 11). A quantidade de material por metro cúbico de cada traço está na tabela 12.

Tabela 11 – Traços unitários definitivos, consumo de cimento por m<sup>3</sup> e aditivo

	Traço Unitário	a/c	Consumo de cimento (kg.m <sup>-3</sup> )	Aditivo (%)
II 30	1:2,05:3,03	0,500	353,43	-
II 50	1:1,29:2,27	0,375	473,39	0,3 (superplastificante)
IV 30	1:1,70:2,68	0,442	395,23	0,2 (plastificante)
IV 50	1:1,00:1,98	0,327	534,79	0,4 (superplastificante)
V 30	1:2,91:3,88	0,640	276,64	-
V 50	1:1,90:2,88	0,475	374,94	-

Tabela 12 – Quantidade de materiais por metro cúbico

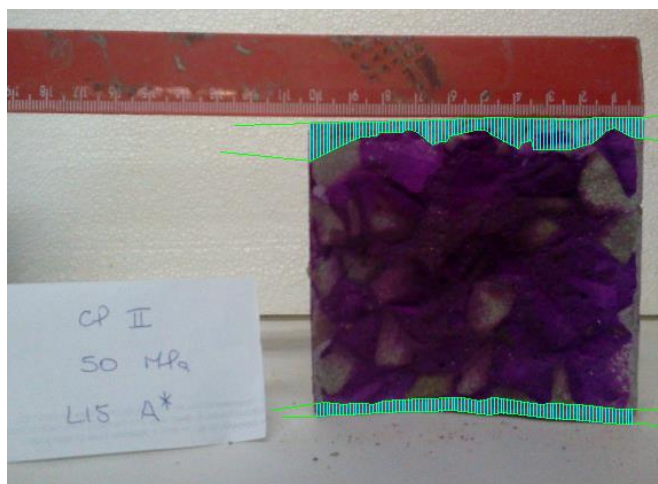
	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (kg)	Aditivo (kg)
II 30	353,43	724,53	1.070,89	176,72	-
II 50	473,39	610,67	1.074,60	177,52	1,42 (superpl.)
IV 30	395,23	671,89	1.059,22	174,69	0,79 (plast.)
IV 50	534,79	534,79	1.058,88	174,88	2,14 (superpl.)
V 30	276,64	805,02	1.073,36	177,05	-
V 50	374,94	712,39	1.079,83	178,10	-

Com os traços definidos, o presente estudo exigiu a determinação da vida útil de cada mistura, pois a durabilidade tem influência sobre a sustentabilidade. Disposto na região de Santa Maria, supôs-se que o agente ambiental de deterioração preponderante sobre o pilar é o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Foram realizados os ensaios natural e acelerado de carbonatação sobre os seis traços, para avaliação da vida útil. Foi considerada uma frente de carbonatação 5 mm a frente do ensaio colorimétrico devido à diferença de pH entre o ponto de viragem da fenolftaleína e o valor mínimo que provoca a despassivação ( $\text{pH} < 11$ ), logo, foi descontada essa espessura da camada de revestimento para despassivação da armadura.

Foram moldados 16 CPs 10x20 cm para cada traço, destinados aos ensaios de carbonatação acelerada e natural. Cada CP cortado ao meio gerou duas partes de 10x10cm, identificados como 'A' e 'B', e pintados com três demãos de verniz poliuretânico ao redor dos seus perímetros, mantendo-se as faces planas sem pintura, para que o fluxo de  $\text{CO}_2$  ocorresse de forma axial.

Dez desses corpos de prova foram destinados aos ensaios de carbonatação natural, para as idades de 180, 270, 360, 540 dias, 2, 4, 8, 12, 16 e 20 anos. As três primeiras idades foram analisadas nesta dissertação, as demais são destinadas a futuros projetos de pesquisa. Os demais (6 corpos de prova) destinados ao ensaio acelerado, dentre estes, um corpo de prova reservado para obtenção dos parâmetros para o pré-condicionamento conforme recomendações da RILEM (1999), para dotá-los de uma concentração de umidade ( $75\% \pm 2$ ) e temperatura ( $23^\circ\text{C} \pm 2$ ) em equilíbrio e iguais para todos os CPs. Os cinco CPs, ou 10 metades, foram colocados em câmara climatizada digital aos 91 dias de idade, em condições 3% de  $\text{CO}_2$ , 70% de UR,  $23^\circ\text{C}$ , após as operações de pré-condicionamento (RILEM, 1999). A idade adotada para o período de pré-cura seguiu o tempo de sazonalização proposto por Frizzo (2001). Realizou-se as medições das profundidades carbonatadas após 2, 4, 8, 12 e 16 semanas, através de ensaio colorimétrico, por meio de digitalização de imagens. Colocou-se cada foto em escala com unidade em milímetros. Desenhou-se uma *polyline* na intersecção de cores da amostra, que representa o limite da área carbonatada e não carbonatada. Desenharam-se linhas verticais com afastamento de 1 mm entre si (figura 22). O comprimento das linhas foi obtido através da rotina denominada "COTA.LSP", desenvolvida em Autolisp, que é uma linguagem de programação do AutoCAD (AUTODESK, 2014). As medidas obtidas pela rotina "COTA.LSP" foram ordenadas em uma planilha do Excel, onde foi realizado o tratamento estatístico. Calculou-se então a média, desvio padrão e coeficiente de variação. Os limites inferiores e superiores de cada corpo de prova foram eliminados até que o coeficiente de variação

atingisse valor inferior a 20%. Ao fim, obtiveram-se as estimativas das vidas úteis por meio dos coeficientes de carbonatação obtidos nos ensaios acelerado e natural. O modelo utilizado para a estimativa da profundidade de carbonatação foi o proposto por Tuuti (1982) (equação 8), com coeficiente  $n=0,50$ , ou seja, o ambiente é interno e abrigado.



**Figura 22 – Medição da profundidade carbonatada pela digitalização de imagem**

$$e = Kc_{CO_2} \cdot t^n \quad \text{(Equação 8)}$$

$e$  = profundidade carbonatada

$n$  = expoente variável dependente das condições de umidade

$Kc_{CO_2}$  = coeficiente de carbonatação expresso em mm/semana<sup>0,5</sup> ou mm/ano<sup>0,5</sup>

Existem outros modelos que relacionam a profundidade de carbonatação ao longo tempo para previsão da vida útil das estruturas como Parrot, CEB, Duracrete, Hyvert e muitos outros (POSSAN, 2010). Nesta dissertação é realizada uma abordagem simplificada da carbonatação como parâmetro de avaliação da vida útil da estrutura, abstraindo-se os demais agentes agressivos que podem interagir com a estrutura. Por tratar-se de um estudo comparativo e preliminar, considerou-se que o modelo de Tuuti (1982) seria suficiente para estabelecer o estudo comparativo entre as alternativas de concretos propostas nos objetivos deste trabalho.

#### 4.1.4 Impactos ambientais e preços

O Conselho Brasileiro da Construção Sustentável (CBCS, 2014) propôs, através das orientações da Plataforma Global de Avaliação do Ciclo de Vida modular (ACV-m), os aspectos ambientais mais relevantes:

- i. Mudanças climáticas: emissões de gases que aceleram o efeito estufa.
- ii. Consumo de recursos naturais: consumo de matéria-prima não renovável ou exploração de recursos renováveis sem manejo ou acima da biocapacidade;
- iii. Consumo de energia: eficiência no uso de energia e contribuição para esgotamento de fontes de energias não renováveis;
- iv. Geração de resíduos: desperdício de produtos ou geração de subprodutos com risco de contaminação ambiental;
- v. Consumo de água: contribuição para o stress hídrico e suas consequências.

No processo da análise do ciclo de vida os danos ambientais são classificados nas categorias de impactos conforme o modelo de avaliação adotado. Existem diferentes modelos de avaliação; esta pesquisa adotou o método utilizado por Silva (2014), o Eco-Indicador 99, que representa um modelo conceituado e presente na estrutura de cálculo do programa computacional SimaPro 8.0.2, software que foi utilizado na ACV-m.

Silva (2014) apresentou os resultados das seis alternativas de pilar de concreto armado nos cinco aspectos ambientais definidos pela CBCS (2014). De maneira geral, os pilares dimensionados com  $f_{ck}=30$  MPa apresentam valores próximos entre si e impactos superiores aos dimensionados com  $f_{ck}=50$  MPa.

O desenvolvimento do custo do ciclo de vida ocorreu de forma paralela, com auxílio da Tabela de Composição de Preços para Orçamento (TCPO, 2008), a tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (BRASIL, 2014) e o programa computacional Microsoft Excel. Fez-se o levantamento dos custos das fases de uso/manutenção, demolição, reciclagem da unidade funcional estudada (pilar de concreto armado), e esses custos foram acrescidos aos valores obtidos por Silva (2014) das fases de obtenção dos materiais e execução do pilar (do berço ao portão). A autora consultou a tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil referente a agosto de 2013, Porto Alegre/RS. Os custos foram atualizados para Junho de 2014 (tabela 13), data base para o levantamento de custos das etapas de pós-construção. Foi necessário aplicar questionários (Apêndice B) à empresa de gestão de resíduos para compreender os processos de demolição, transporte e reciclagem. O percentual de encargos sociais adotado foi de 144,22%.

Tabela 13 – Custos das alternativas até a execução do pilar

Pilar	Custo com encargos sociais (R\$.pilar <sup>-1</sup> )
II 30	482,17
IV 30	486,61
V 30	506,36
II 50	454,26
IV 50	460,09
V 50	474,89

Fonte: Adaptado de Silva (2014)

Silva (2014) concluiu em seu estudo que a alteração do cimento teve pouco impacto no custo total, porém, o decréscimo do  $f_{ck}$  de 50 MPa para 30 MPa gerou aumento do custo. Ao realizar um comparativo unitário do custo, com a divisão do custo total de cada alternativa pela respectiva resistência aos 28 dias, a autora observou uma diferença de apenas 5% ao variar apenas o cimento, todavia, um acréscimo de aproximadamente 40% no custo unitário ao reduzir a resistência característica.

#### 4.1.5 Software SimaPro

O SimaPro é uma ferramenta flexível que possibilita a análise e comparativo ambiental de produtos, serviços e processos de etapas do ciclo de vida. O programa está no mercado desde o início dos anos 90, foi desenvolvido para auxiliar na Análise do Ciclo de Vida (ACV), seguindo as recomendações das normas ISO 14040 e 14044. Atualmente na versão 8.0.2, demonstra ser uma ferramenta bastante confiável para muitas indústrias, empresas de consultoria e universidades em mais de 80 países. Esse *software* apresenta uma biblioteca de dados e diferentes métodos de cálculo embutidos em seu sistema, na versão completa.

A estrutura básica de métodos de avaliação de impacto no SimaPro é:

1. Caracterização - As substâncias que contribuem para uma categoria de impacto são multiplicadas por um fator de caracterização que expressa a contribuição relativa da substância.
2. Avaliação de danos – Combinação de uma série de impactos em uma categoria de dano
3. Normalização – os indicadores de impacto sofrem normalização, todos ficam com a mesma unidade, o que torna mais fácil para compará-los.
4. Ponderação – fator que multiplica os impactos para normalizá-los.

O *software* SimaPro contém um banco de dados detalhado de entrada e saída com diversos produtos que engloba toda a economia, além da compatibilidade com o banco de dados Ecoinvent v3.0, que cobre mais de 10.000 processos. O banco de dados Ecoinvent é o resultado de um esforço de diferentes instituições suíças para atualizar e integrar várias bases de dados de inventário de ciclo de vida. Não o bastante, é possível criar novos produtos ou processos, inclusive relacionando-os aos já existentes. O programa conta com uma estrutura que permite filtrar os resultados, compará-los, agrupá-los, apresentá-los em gráficos ou fluxogramas.

#### 4.1.6 Considerações sobre a vida útil

A norma NBR 15575-1 (2008) estabelece a vida útil de projeto mínima para as diversas partes do edifício, e adota 40 anos como o limite inferior para as estruturas habitacionais do país. A norma recomenda uma vida útil de projeto superior de 60 anos, de modo a balizar o setor da construção em relação ao que é tecnicamente possível de obter atualmente. Desta maneira, esta pesquisa adotou uma vida útil mínima de 50 anos para a unidade funcional (pilar de concreto armado), que compreende a estrutura de uma edificação habitacional. As alternativas estudadas que apresentaram vida útil estimada (pelo ensaio de carbonatação) inferiores à durabilidade mínima exigida (50 anos) receberam pintura superficial de proteção (tinta acrílica). De acordo com os fabricantes de tinta acrílica, pinturas sobre a superfície de concreto apresentam durabilidade entre 2 e 10 anos, a depender das condições de exposição: contato com a chuva, contato com o sol, distância a regiões litorâneas, agressividade do ar.

Esta pesquisa envolve um pilar de concreto armado disposto no térreo e centro de uma edificação, portanto, o pilar está protegido da chuva e contra a incidência direta do sol. Adotou-se uma durabilidade de 6 anos para a tinta acrílica, aplicado sobre os pilares que apresentaram vida útil inferior a 50 anos, sob análise da carbonatação (único agente de deterioração avaliado nesta pesquisa). O efeito da cobertura superficial sobre a ação da carbonatação é variável (ver item 3.2.6 desta dissertação), resultam na redução do coeficiente de carbonatação entre 1,5 e 3 vezes, a depender de diversos fatores, tais como qualidade da aplicação da cobertura superficial, materiais utilizados, método de análise. Esta pesquisa adotou redução de 1,7 no coeficiente de carbonatação dos pilares que exigiram cobertura superficial de tinta acrílica para alcançar vida útil mínima (50 anos).

Por outro lado, é preciso analisar o limite superior da vida útil de uma estrutura habitacional de concreto armado. O'Connor (2004) avaliou a razão da demolição de 227

edifícios de uma grande cidade norte americana, destes, 25% estruturados em concreto armado. Os resultados da autora sugerem que não há relação significativa entre o sistema estrutural e vida útil real do edifício. As razões para demolição foram relacionadas à alteração de valores da terra, falta de adequação do prédio para as necessidades atuais, e falta de manutenção de vários componentes não-estruturais. Apenas oito edifícios apresentaram falha estrutural específica, e algumas estruturas demolidas após 100 anos. Essas razões são evidenciadas em diversos países, principalmente nos países emergentes. Exceto estruturas históricas, os edifícios tornam-se obsoletos antes de atingirem sua vida última.

Estimar a vida útil e adotar um valor muito prolongado é problemático, visto a dinamicidade da sociedade atual e incertezas das gerações futuras. Portanto, esta pesquisa fixa um valor máximo de 150 anos de vida útil, assim, evita superestimar e permite a potencialidade de um concreto durável.

## **4.2 Inventário**

Nesta etapa são estabelecidos os fluxos de entrada e saída de material e energia para cada unidade de processo do sistema relacionado ao produto. O cálculo é feito da seguinte forma:

1. Classificação dos fluxos elementares em “entrada” ou “saída”;
2. Uniformização dos dados em quantidade.período<sup>-1</sup>, período pode ser ano, mês, dia;
3. Cálculo do total de material, combustível e energia envolvido em todo o processo unitário;
4. Divisão do total de cada insumo pelo total de material principal produzido, em quilograma (kg);
5. Obtenção dos fluxos de entrada e saída de cada unidade de processo.

Esta pesquisa envolve as fases de uso/manutenção, demolição e reciclagem do pilar de concreto armado, e agrega aos resultados obtidos por Silva (2014). A autora realizou o inventário das fases de obtenção da matéria-prima e execução do pilar, e alguns dados do inventário são utilizados nas fases do ciclo de vida subsequentes.

Silva (2014) coletou os dados de agregados e cimentos nas fábricas fornecedoras, já o inventário dos aditivos, água e madeira foram obtidos no banco de dados do programa SimaPro 8.0.2. Os dados sobre o aço de construção foram obtidos no “Relatório de Sustentabilidade do Aço”, ano de 2012, do Instituto Aço Brasil (2013). O inventário do combustível óleo diesel foi realizado através da conversão da energia emitida da queima do combustível para a quantidade, em gramas, de cada elemento desta queima, como monóxido



de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio e material particulado. A autora constatou a utilização de explosivo em forma de lama para obtenção da brita, e quantificou as emissões geradas por meio de cálculos estequiométricos. Já na quantificação da energia elétrica, Silva (2014) calculou a emissão de dióxido de carbono pela média das emissões do período de outubro de 2012 e setembro de 2013, dados do Ministério da Ciência e Tecnologia (BRASIL, 2013). Maiores detalhes sobre o inventário ver Silva (2014).

As fases subsequentes são uso e manutenção, desconstrução e reciclagem. A metodologia adotada nos cálculos dos inventários é descrita a seguir, e os valores inseridos podem ser conferidos no Apêndice C.

#### 4.2.1 Fase de uso e manutenção

Adotou-se que o pilar de concreto aparente recebe rotina de limpeza a cada três anos, de maneira a atender a estética e a vida útil estabelecida. O inventário da água foi obtido da base de dados do programa SimaPro 8.0.2 (*tap water, at user*), com características similares às locais. As alternativas que receberam cobertura superficial não receberam lavagens periódicas, dado que a repintura foi realizada a cada seis anos e manteve a estética dos pilares.

Não há norma técnica que defina a quantidade de água necessária para a limpeza de pilares de concreto. Foi adotada a TCPO (2008), ao considerar a lavagem com lava-jato com pressão de 1700 psi dos pilares com resistência característica de 30 MPa (3,85m<sup>2</sup> de área total) e os pilares com 50 MPa (3,3m<sup>2</sup>). Para o uso do querosene, presente na TCPO (2008), fez-se uso do banco de dados do programa SimaPro 8.0.2 (*kerosene, at refinery/US*). De acordo com fabricantes de lava-jatos com as características presentes na TCPO (2008), o consumo de água está em torno de 360 l/h, portanto, estimou-se que o consumo de água por m<sup>2</sup> é de 6 litros. Esse consumo foi multiplicado pela área e vida útil e dividido por três (periodicidade das lavagens), o que resultou na água total consumida.

Faz-se necessário a quantificação da energia elétrica consumida na utilização do lava-jato. De acordo com dados dos fabricantes, o lava-jato tem potência de 1500W. A TCPO (2008) apresenta o item “limpeza do substrato com aplicação de jato de água fria”, constata-se que o coeficiente para a limpeza de 1 m<sup>2</sup> de concreto é 0,13 horas. Portanto, a energia consumida na limpeza de 1 m<sup>2</sup> é equivalente ao produto do tempo pela potência, ou seja, 0,195 KWh/m<sup>2</sup>. Para o cálculo do consumo de energia do pilar durante toda a vida útil, é preciso multiplicar a energia pela vida útil e pela área de cada pilar, e dividir por três (periodicidade das lavagens).

A tinta acrílica foi aplicada sobre os pilares que não apresentaram a estimativa de vida útil mínima de 50 anos, com periodicidade de seis anos e primeira pintura logo na execução. A tabela de composição de preços (TCPO, 2008) que melhor se adequou foi “pintura com tinta acrílica em piso de concreto, 2 demãos, aplicado com rolo de lã”. O coeficiente da tinta acrílica é de 0,30 litros para cada metro quadrado. Este valor multiplicado pela área total de cada pilar e pelo número de pinturas necessárias ao longo de todo o ciclo de vida resulta no consumo total de tinta acrílica. O inventário da tinta foi obtido no banco de dados do programa SimaPro 8.0.2. O item que melhor se adequou foi ‘*acrylic varnish, 87,5% in H2O, at plant*’.

Durante o período de uso da estrutura, ocorre a fixação do CO<sub>2</sub> do ambiente no pilar de concreto. Esse é um ponto positivo, e deve ser considerado de maneira a contribuir com a avaliação da sustentabilidade. A quantificação do CO<sub>2</sub> absorvido foi estudada por alguns autores na atualidade (LAGERBLAD, 2006; PADE E GUIMARAES, 2007; COLLINS, 2010), e o modelo mais empregado é apresentado na equação 11.

$$CO_2 = x \cdot c \cdot CaO \cdot R \cdot A \cdot M \quad (\text{equação 11})$$

Onde:

x é profundidade carbonatada em metros;

c é a quantidade (kg/m<sup>3</sup>) de clínquer no aglomerante;

CaO é a proporção de óxido de cálcio, adotado 0,65 (COLLINS, 2010), onde o valor 1 seria 100%;

R é a proporção de CaO totalmente carbonatada e transformada em CaCO<sub>3</sub> assumido 0,75, (LAGERBLAD, 2005);

A é a área de concreto exposta (m<sup>2</sup>);

M é a fração molar química adimensional de CO<sub>2</sub>/CaO = 0,79 (COLLINS, 2010).

O valor da profundidade carbonatada (x) é 0,025 metros para todos os traços, pois esse é o cobrimento da armadura. A quantidade de clínquer por metro cúbico em cada traço é dado na tabela 14. A composição do cimento foi obtida na apostila técnica de cimento (ITAMBÉ, 2010), os teores de clínquer nos cimentos CPII-Z, CPIV e CPV-ARI foram de 78,44%, 63,14% e 92,72%, respectivamente.

**Tabela 14 – Relação de cimento e clínquer**

<b>Traço</b>	<b>kg de cimento. m<sup>-3</sup></b>	<b>kg de clínquer. m<sup>-3</sup></b>
II30	289,8	227,1
IV30	324,0	204,6
V30	226,8	210,3
II50	418,0	328,0
IV50	472,5	298,5
V50	331,0	307,0

#### 4.2.2 Fase de desconstrução/reciclagem

Nas fases finais, estimou-se que os métodos de desconstrução e reciclagem serão conforme as práticas usuais atuais. Para realizar a desconstrução do pilar de concreto armado, fez-se uso de martelo rompedor para reduzir as dimensões do concreto e facilitar o carregamento. Esse martelo é alimentado por um compressor de ar portátil, que por sua vez, consome óleo diesel. A TCPO (2008) possui o item “demolição de concreto armado com utilização de martelo rompedor”, que utiliza um compressor de ar de 63 HP (47 KW) e capacidade de 3,3 m<sup>3</sup>/min. As características foram úteis na busca por especificações técnicas. O consumo de diesel por hora está entre 5 e 7 litros, adotou-se o valor de 6 l/h. A unidade desse item da TCPO (2008) é metro cúbico, com coeficiente de 5 horas, logo, o consumo de diesel é de 30 l/m<sup>3</sup>. O consumo de diesel do compressor a ar para pilares de  $f_{ck} = 30$  MPa (0,309 m<sup>3</sup>) foi de 9,28 litros, e para pilares de  $f_{ck} = 50$  MPa (0,220 m<sup>3</sup>) foi de 6,60 litros.

Para o carregamento do entulho, foi considerado uma porcentagem de perdas de 5% do material. Empregou-se o item “carga mecanizada de entulho em caminhão basculante” da TCPO (2008), que utiliza uma carregadeira sobre rodas de 129 HP com capacidade de 2,10 m<sup>3</sup>, e gasta 0,0104 horas para cada metro cúbico, consumo de 24,4 litros por hora. Da mesma maneira que o compressor a ar, o cálculo da carregadeira resultou em 0,079 litros de diesel para pilares de 30 MPa, e 0,056 litros para pilares de 50 MPa.

A empresa GR2 de Santa Maria/RS, responsável pela gestão de resíduos da região, utiliza caminhões com capacidade de 6 m<sup>3</sup> e 12 m<sup>3</sup>. Para ficar de acordo com a TCPO (2008), optou-se pela utilização do caminhão com capacidade de 6 m<sup>3</sup> para o transporte do entulho da UFSM, local onde está situado a estrutura fictícia, até a sede da empresa GR2. Essa distância é de 14,3 km, portanto a distância a ser percorrida pelo caminhão é de 28,6 km. O transporte seria efetuado em 1 hora, aproximadamente, de acordo com a entrevista. O consumo de óleo diesel do caminhão basculante para 1 hora é de 36,5 litros (TCPO, 2008). Com carga máxima (6 m<sup>3</sup>), cada metro cúbico exige o equivalente a 6,08 litros de óleo diesel, portanto, o

transporte de um pilar com  $f_{ck} = 30$  MPa consome 1,88 litros e outro com  $f_{ck} = 50$  MPa consome 1,34 litros.

Ao chegar na empresa, o entulho é descarregado em local pré-estabelecido. O aço é separado para ser enviado à sucata, e posteriormente, retorna à siderúrgica onde será totalmente reciclado. O concreto é manuseado por retroescavadeira modelo BL60B até o britador. Esta retroescavadeira carrega  $0,8 \text{ m}^3$ , consome 8 litros de diesel por hora, e leva em torno de 5 minutos para carregar e descarregar o concreto no britador. Portanto, o consumo de diesel da retroescavadeira por metro cúbico é de  $0,833 \text{ l/m}^3$ , para o pilar de 30 MPa, o consumo é de 0,26 litros e para o pilar de 50 MPa, de 0,18 litros.

O britador reduz a granulometria do entulho, uma esteira leva o material para três operadores que selecionam o entulho em categorias, um eletroímã retira os metais remanescentes e o entulho cai sobre um monte. Todos esses equipamentos são movidos a um gerador de 50 KVA que funciona a diesel. Segundo o proprietário da empresa, o consumo do gerador é de 5 l/h. Esse sistema tem capacidade de separar  $25 \text{ m}^3/\text{h}$ . Portanto, o gerador gasta 0,2 litros de óleo diesel para cada metro cúbico de RCD produzido. O consumo de diesel do gerador proporcional a cada pilar é de 0,06 litros para o pilar de  $f_{ck} = 30$  MPa e 0,04 litros para o pilar de  $f_{ck} = 50$  MPa.

Na fase de desconstrução e reciclagem, o consumo de diesel foi o mesmo para os três pilares dimensionados para 30 MPa, e o mesmo para os pilares dimensionados para 50 MPa (tabela 15).

As tabelas de composição de custo de cada item destas fases do ciclo de vida estão no Apêndice D.

**Tabela 15 - Consumo total de óleo diesel de cada pilar, independente do cimento**

<i>RESIST. CARACTERÍSTICA (MPa)</i>	<i>TOTAL DIESEL (l)</i>
30	11,56
50	8,22

### 4.3 Avaliação de impactos e interpretação do ciclo de vida

O cálculo da avaliação de impactos é realizado a partir da análise das substâncias envolvidas no sistema do produto, por meio de quantificação da influência tabelada de cada uma das substâncias em cada categoria de impacto, de acordo com o método selecionado.

O método de avaliação adotado Eco-indicator 99 utiliza para as categorias de **saúde humana** - mudanças climáticas, destruição da camada de ozônio, problemas respiratórios por substância orgânicas e inorgânicas e radiação ionizante - o *disability adjusted life years* (DALY), que trata-se de uma medida que busca quantificar a carga de doenças ou deficiências nas populações, determinada por diversas convenções médicas. Já para o grupo de **qualidade dos ecossistemas** – uso de terra, acidificação e eutrofização e ecotoxicidade – a ponderação é expressa em fração de potencial desaparecimento (PDF).  $m^2$ .ano; e para a classe dos **recursos** – esgotamento de minerais e combustíveis fósseis – é expresso em MJ. É possível uniformizar esses resultados para um número de referência. O programa SimaPro 8.0.2 realiza essa conversão. A unidade final é Pt, que equivale a um milésimo da carga ambiental média anual de um cidadão europeu.

A interpretação dos resultados foi realizada sobre os valores técnicos obtidos, com unidade megapascal (MPa) e vida útil (anos), ambientais, com unidade Pt obtida no programa SimaPro 8.0.2, e valores econômicos, sob a unidade Real (R\$). Foi realizado um comparativo unitário, com a divisão dos resultados obtidos pela vida útil (anos) e resistência aos 28 dias ( $f_{c28}$ ), e ao fim, dado índices aos resultados das alternativas, em relação a um traço tomado como referência.

O cálculo de emissão de gás carbônico equivalente ( $CO_2e$ ) de cada alternativa fez-se necessário para uma análise completa dos impactos ambientais, dado que cada pilar proporciona liberação e absorção diferentes de  $CO_2$  entre si. A liberação depende de todos os processos ao longo de toda a vida útil, e a absorção depende, basicamente, do traço, cimento utilizado e dimensionamento. O inventário gerado pelo software (Apêndice E) foi utilizado para esse cálculo, assim como os fatores de equivalência (tabela 16), adaptados da tabela 2.14 do Fourth Assessment Report (Quarto Relatório de Avaliação) (IPCC, 2007b).

**Tabela 16 – fatores de equivalência para quantificação do  $CO_2e$**  (continua)

Substância	Fator de equivalência
Água ( $H_2O$ )	0,0176
Clorofórmio ( $CHCl_3$ )	31
Dióxido de carbono , a transformação de terras	1
Dióxido de carbono , biogênicos	1
Dióxido de carbono , no ar	1
Dióxido de carbono fóssil	1
Etano , 1,1- difluoro - , HFC - 152a	124
Etano , 1,1,1,2 - tetrafluoro - , HFC - 134a	1430
Etano , 1,1,2 - tricloro - 1 ,2,2 - trifluoro - , CFC - 113	6130

(conclusão)

<b>Substância</b>	<b>Fator de equivalência</b>
Etano , 1,2- dicloro - 1 ,1,2,2 - tetrafluoro - , CFC - 114	10000
Hexafluoreto de enxofre (SF <sub>6</sub> )	22800
Metano, biogênicos	25
Metano, bromoclorodifluormetano , Halon 1211	1890
Metano, bromotrifluoro - , Halon 1301	7140
Metano , clorodifluoro - , HCFC - 22	1810
Metano, dichlorodifluoro - , CFC-12	10900
Metano , dichlorofluoro - , HCFC - 21	151
Metano , fóssil (CH <sub>4</sub> )	25
Metano, trichlorofluoro - , CFC-11	4750
Metano , trifluoro - , HFC - 23 (CHF <sub>3</sub> )	14800
Óxidos de nitrogênio (N <sub>2</sub> O)	298

Dessa forma, multiplicou-se os fatores de equivalência aos valores desses componentes em cada alternativa de pilar e abateu-se o valor de CO<sub>2</sub> que cada pilar absorveu durante sua vida útil.

Ao fim, fez-se a integração dos resultados ambientais, técnicos e econômicos para a escolha da melhor alternativa, com a média geométrica dos índices ambientais e econômicos ( $I_a \cdot I_e^{0,5}$ ).

## CAPÍTULO V

### 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta o resultado dos diferentes traços estudados, a análise do ciclo de vida e de custo de cada alternativa, conforme sua durabilidade e vida útil. Posteriormente, são feitos comparativos entre as composições estudadas no intuito de integrar os custos à sustentabilidade, e discutir, dessa forma, a/as melhor/es alternativa/s para as condições apresentadas.

#### 5.1 Desempenho dos traços frente a carbonatação acelerada

Ao realizar as leituras para cada idade estudada no ensaio de carbonatação acelerada, a Tabela 17 mostra os resultados médios obtidos para cada uma das idades estudadas. Cada valor apresentado na tabela 17 representa, pelo menos, 800 valores de profundidade calculados pelo analisador de imagens, tratados estatisticamente e com descarte dos valores que se diferenciaram mais de 20% da média.

Tabela 17 - Profundidade média de carbonatação acelerada dos traços analisados

CIMENTO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)		a/ag	PROFUNDIDADES (mm)				
	f <sub>ck</sub>	f <sub>c28</sub>		SEMANAS				
				2	4	8	12	16
CPII-Z	30,0	36,6	0,500	6,66	9,33	12,11	12,91	13,67
	50,0	56,6	0,375	3,34	4,38	5,90	6,42	6,97
CPIV	30,0	36,6	0,442	8,03	11,45	14,84	18,11	20,28
	50,0	56,6	0,327	3,95	4,73	5,56	6,05	7,22
CPV-ARI	30,0	36,6	0,640	6,00	7,92	9,69	12,74	14,81
	50,0	56,6	0,475	3,31	5,45	6,98	8,12	8,52

Observa-se pela tabela 17 que as maiores profundidades de carbonatação ocorreram com os traços de resistência característica 30MPa, em especial com o cimento CPIV. Trata-se do cimento com maior porcentagem de adição pozolânica. A presença de adições minerais no cimento pode ter efeitos positivos e negativos. De acordo com Mehta e Monteiro (2008), as adições propiciam o refinamento dos poros e dos grãos, aumentando a sinuosidade dos capilares e diminuindo a permeabilidade. Porém, as reações pozolânicas reduzem o teor de álcalis quando a sílica reage com o hidróxido de cálcio Ca(OH)<sub>2</sub> (Parrot, 1996), tornando o

concreto mais vulnerável à ação de carbonatação, principalmente para concretos com relação água/aglomerante superiores a 0,50.

As relações água/cimento, calculadas a partir da equação de Abrams, foram apresentadas na tabela devido a sua importância na porosidade do concreto. Da mesma maneira, Mehta e Monteiro (2008) destacam a influência da porosidade no fenômeno de carbonatação. Tamanho, distribuição, interconexão e tortuosidade da rede de poros, alteram a facilidade de percolação de fluídos no concreto, fatores diretamente ligados com a relação água/cimento. Nos traços estudados, as maiores relações água/cimento em cada grupo de resistência ( $f_{ck} = 30$  MPa e  $f_{ck} = 50$  MPa) foram do cimento CPV-ARI (0,64 e 0,475, respectivamente), que tem ganho de resistência mais rápido. Os valores de profundidade média do traço CPV30 indicam valores iniciais menores que os demais traços com 30 MPa, porém, um avanço elevado, maior que o traço II30 na última idade (16 semanas).

As médias foram plotadas em um gráfico, raiz quadrada do tempo pela profundidade carbonatada (figura 23), e dele foram obtidas linhas de tendência com equação do tipo  $f(x) = a.x + b$ , onde o coeficiente angular da reta, calculado por regressão linear ( $\sqrt{t}$  em semanas versus  $e$  em mm) “a” é o coeficiente de carbonatação ( $K_c$ ) em cada traço, e o valor ‘b’, resultado da liberdade da função, representa o ponto em que as retas cruzam o eixo das ordenadas.

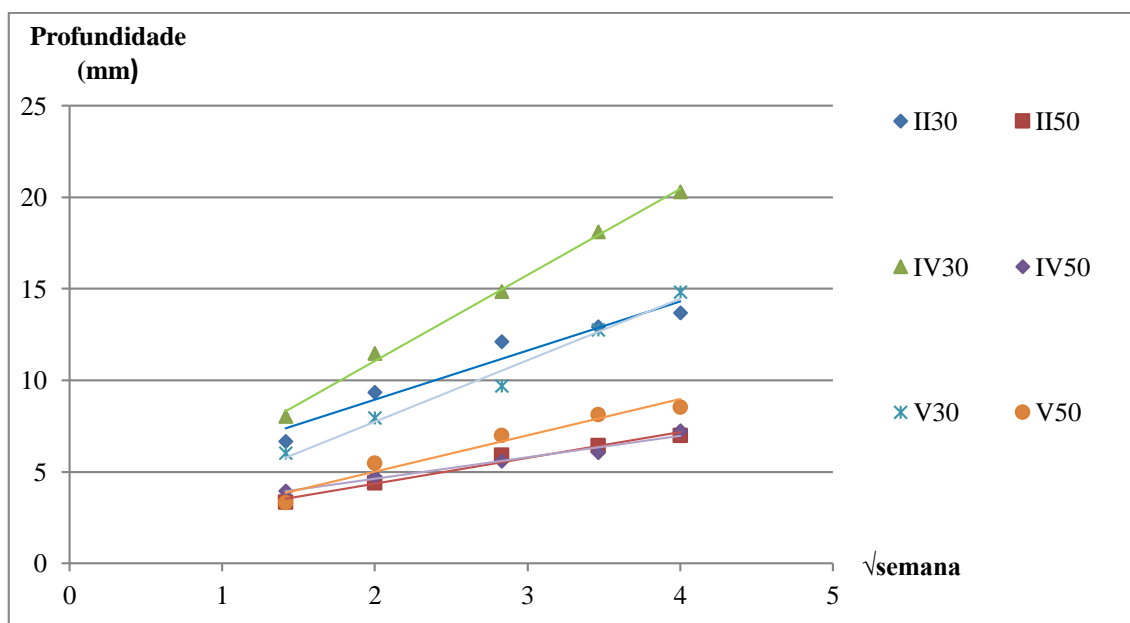


Figura 23 - Profundidades de carbonatação acelerada e linhas de tendência



Tendo como base as especificações de projeto já estabelecidas e os resultados de carbonatação pelo método acelerado do pilar estrutural executado, foi possível estimar a vida útil de cada traço estudado. As estimativas da frente de carbonatação de cada pilar executado com os traços estudados estão na tabela 18, correspondendo um avanço da frente de  $x = 20$  mm (25 mm da camada de cobrimento deduzido de 5 mm da frente com pH entre 11 e 8,5). Esta estimativa calculada é dada como teórica, obtida por processos puramente matemáticos. Observa-se a grande variabilidade dos resultados, que favorecem os traços com  $f_{ck} = 50$  MPa, e, desse modo, causariam disparidade nos resultados ambientais e econômicos. O tempo estimado provável é apresentado na última coluna. Esse cálculo considera o uso de proteção superficial (tinta acrílica) sobre os pilares com estimativa teórica abaixo da vida útil mínima adotada (50 anos), conforme norma NBR 15575 (2013), e a limitação de vida útil de 150 anos, conforme descritos no capítulo IV.

**Tabela 18 - Estimativa da vida útil do pilar de concreto armado para um cobrimento efetivo de 20 mm**

CIMENTO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)		a/ag	COEFICIENTE (mm x semana <sup>-0,5</sup> )		TEMPO ESTIMADO TEÓRICO (anos) $t=(x/Kc)^2$	K <sub>c</sub> COM PINTURA (K <sub>c</sub> ÷ 1,7)	TEMPO ESTIMADO PROVÁVEL (anos)
	f <sub>ck</sub>	f <sub>c28</sub>		K <sub>c</sub>	r <sup>2</sup>			
CPII-Z	30,0	36,6	0,500	2,675	0,942	56	-	56
	50,0	56,6	0,375	1,412	0,976	201	-	150
CPIV	30,0	36,6	0,442	4,692	0,997	18	2,760	53
	50,0	56,6	0,327	1,174	0,974	290	-	150
CPV-ARI	30,0	36,6	0,640	3,358	0,982	35	1,975	103
	50,0	56,6	0,475	1,981	0,954	102	-	102

Os valores dos coeficientes de determinação “r<sup>2</sup>” indicam grande correlação entre os valores das profundidades de carbonatação, todos acima de 0,94. O traço CPIV50 apresenta a maior vida útil teórica, além da menor relação a/c de 0,327. Observa-se que a estimativa de vida útil dos traços com relação água/cimento menores que 0,40 são muito superiores às demais. A estimativa teórica do traço IV30 é consideravelmente baixa, a pior alternativa estudada em termos de vida útil. Há dois traços estudados que, na forma natural de exposição, não atenderam a vida útil mínima de 50 anos, conforme norma NBR 15575 (2013): IV30 (18 anos) e V30 (35 anos). Nesses pilares foi aplicada cobertura superficial, que reduziu os coeficientes de carbonatação para 2,760 e 1,975, respectivamente. Essa redução causou um acréscimo de 2,89 vezes a vida útil teórica nos dois casos. Já a vida útil dos pilares II50 (201 anos) e IV50 (290 anos) extrapolaram o limite estabelecido (150 anos).

## 5.2 Carbonatação natural

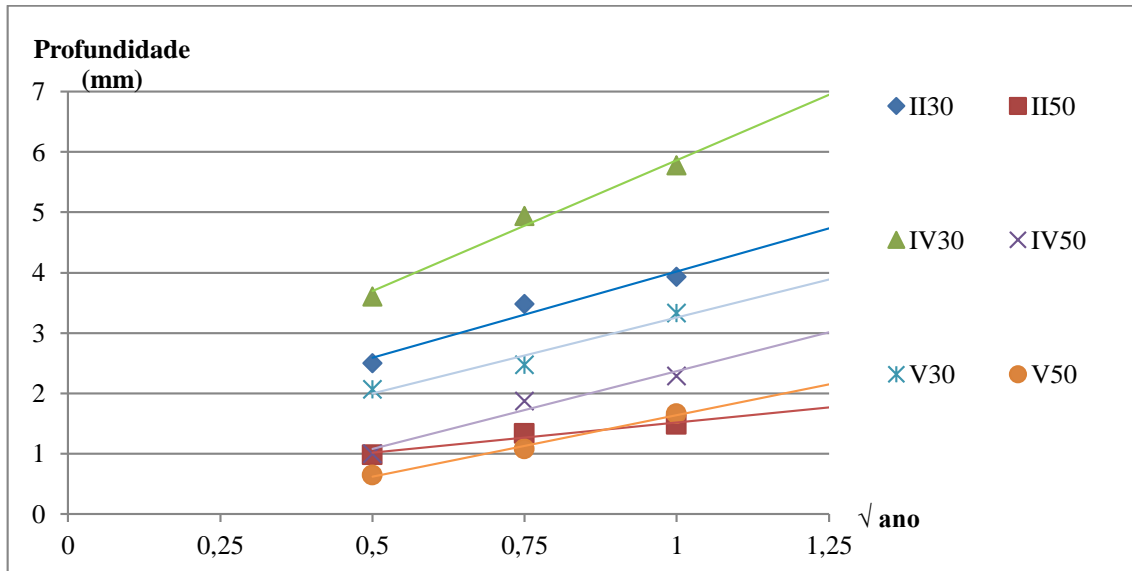
Os ensaios de carbonatação natural foram realizados no intuito de comparar os resultados com os ensaios acelerados, nas idades possíveis até a apresentação desta dissertação. As três idades analisadas no ensaio natural, 180, 270 e 360 dias, são próximas e iniciais perante a vida útil prevista para os traços estudados, período onde o fenômeno da carbonatação ocorre de maneira mais célere. No entanto, seriam necessárias análises em idades mais avançadas para obterem-se coeficientes de carbonatação adequados. Porém, é pertinente avaliar as profundidades carbonatadas nas idades iniciais, mostradas na tabela 19.

**Tabela 19 - Profundidade média de carbonatação natural dos traços analisados**

CIMENTO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)		a/ag	PROFUNDIDADES (mm)		
	f <sub>ck</sub>	f <sub>c28</sub>		DIAS		
				180	270	360
CPII-Z	30,0	36,6	0,500	2,50	3,48	3,93
	50,0	56,6	0,375	0,98	1,33	1,48
CPIV	30,0	36,6	0,442	3,61	4,94	5,78
	50,0	56,6	0,327	1,00	1,87	2,29
CPV-ARI	30,0	36,6	0,640	2,07	2,47	3,33
	50,0	56,6	0,475	0,64	1,08	1,66

Destacam-se as profundidades elevadas do traço IV30 nas três idades analisadas, que comprovam a provável vida útil reduzida desse traço, ao contrário do que ocorre com os traços dimensionados para 50 MPa.

Da mesma maneira, as profundidades obtidas foram plotadas em gráfico onde o eixo das abscissas representa a raiz quadrada do tempo e o eixo das ordenadas é a profundidade carbonatada (figura 24).



**Figura 24 - Profundidades de carbonatação natural e linhas de tendência**

A figura 24 mostra que o traço IV30 apresenta inclinação mais acentuada e o traço II50 o oposto. Isso se realça ao analisar os coeficientes de carbonatação do ensaio natural e os respectivos coeficientes de determinação, apresentados na tabela 20. Observa-se que os ensaios naturais e acelerados apresentam tendências similares, conforme figuras 23 e 24.

**Tabela 20 – Coeficientes de carbonatação natural dos traços analisados**

CIMENTO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)		a/ag	COEFICIENTE (mm x ano <sup>-0,5</sup> )	
	f <sub>ck</sub>	f <sub>c28</sub>		K <sub>c</sub>	r <sup>2</sup>
CPII-Z	30,0	36,6	0,500	4,922	0,974
	50,0	56,6	0,375	1,722	0,949
CPIV	30,0	36,6	0,442	7,438	0,983
	50,0	56,6	0,327	4,437	0,961
CPV-ARI	30,0	36,6	0,640	4,247	0,957
	50,0	56,6	0,475	3,461	0,994

Os valores dos coeficientes de carbonatação obtidos pelo ensaio natural são superiores aos obtidos pelo ensaio acelerado. Com leituras de idades superiores, os valores tendem a diminuir. A comparação entre os ensaios acelerados e natural somente podem ser realizados após um determinado tempo como afirmam os autores abaixo:

A representatividade dos ensaios de desempenho baseados no envelhecimento acelerado, em relação aos fenômenos que ocorrem em condições reais, são

suscetíveis à evolução de microestrutura e de propriedades diferentes em comparação ao envelhecimento natural. Foram observadas modificações estruturais em concretos submetidos a ensaios de carbonatação acelerada com altos teores de  $\text{CO}_2$ : forma-se uma capa de  $\text{CaCO}_3$  ao redor dos cristais de  $\text{Ca(OH)}_2$  impedindo carbonatação total. A severidade de um ensaio não pode ser avaliada a não ser estudando-se a resposta do desempenho para traços de concreto para os quais se conheça o comportamento *in situ* em período suficientemente grande (pelo menos 10 anos). Isto implica em iniciar os ensaios mesmo antes de conhecer seu grau de severidade, devido a importância da existência de estudos prévios antes de incorporar ensaios de desempenho nos textos (normas) (Baroghel-Bouny, V; Cussigh, F.; Rougeau, 2008, p. 287).

Dessa maneira, tomou-se a estimativa de vida útil calculadas pelos resultados do ensaio acelerado para o levantamento dos custos e análise do ciclo de vida, visto que os ensaios em verdadeira grandeza não apresentam idade suficiente para garantir previsão de vida útil com maior grau de certeza.

### 5.3 Custos

A tabela 21 apresenta os resultados obtidos dos custos totais, do berço ao túmulo, com encargos sociais obrigatórios de 144,22%. Os valores obtidos por Silva (2014) foram atualizados para Junho de 2014, estão apresentados no item construção. Nos demais itens, foram consultadas a TCPO (TCPO, 2008) e tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, referente a junho de 2014, Porto Alegre/RS (BRASIL, 2014).

**Tabela 21 – Custos de cada fase do pilar de concreto**

Item	Custos com encargos sociais (R\$.pilar <sup>-1</sup> )					
	II 30	IV 30	V 30	II 50	IV 50	V 50
<b>CONSTRUÇÃO</b>	482,17	486,61	506,36	454,26	460,09	474,89
<b>PINTURA</b>	0,00	1220,58	2305,54	0,00	0,00	0,00
<b>LAVAGEM</b>	570,32	0,00	0,00	1311,43	1311,43	890,91
<b>DECONSTRUÇÃO</b>	47,52	47,52	47,52	33,79	33,79	33,79
<b>TRANSPORTE</b>	10,75	10,75	10,75	7,64	7,64	7,64
<b>MANEJO DO RCD</b>	2,05	2,05	2,05	1,46	1,46	1,46
<b>TOTAL</b>	<b>1112,81</b>	<b>1787,26</b>	<b>2825,95</b>	<b>1840,93</b>	<b>1808,58</b>	<b>1408,69</b>

Para os traços que exigiram pintura, não foram realizadas lavagens a cada três anos, portanto, não há pilar com custos de ambos simultaneamente. Observa-se que os maiores custos foram oriundos desses dois itens referentes a fase de uso/manutenção (pintura e lavagem), e sobrepuseram os custos de construção durante as vidas úteis consideradas. O maior custo total foi do traço V30 (R\$ 2825,95), que apresenta maior custo de construção (R\$ 506,36) e alto custo de pintura (R\$ 2305,54) O custo de pintura desse pilar representou 82%

do custo total. O menor custo total foi o pilar II30 (R\$ 1112,81), único pilar dimensionado com  $f_{ck} = 30$  MPa que atingiu a vida útil mínima estabelecida (50 anos). O custo da lavagem desse traço representa 51% do custo total.

Para efeito de melhor analisar comparativamente os custos de cada alternativa, o modo mais adequado é calcular os dados unitariamente, dividindo-se o valor total dos custos obtidos pela resistência à compressão aos 28 dias, em MPa, e pela vida útil (VU), em anos, de cada traço (figura 25).

Claramente os pilares de  $f_{ck} = 30$  MPa se agrupam em termos de custo, o mesmo ocorre com os de  $f_{ck} = 50$  MPa. O menor custo unitário entre todas as opções foi do pilar IV50 (0,21 R\$.MPa<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), muito próximo dos demais traços com  $f_{ck} = 50$  MPa. Entre o grupo de  $f_{ck} = 30$  MPa, o menor custo unitário foi o II30 (0,54 R\$.MPa<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), pilar que obteve vida útil (56 anos) superior à mínima estabelecida (50 anos). O maior custo unitário entre todas as alternativas foi do pilar IV30 (0,92 R\$.MPa<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), que utilizou pintura para prolongar a vida útil (VU teórica de 18 anos e VU provável de 53 anos).

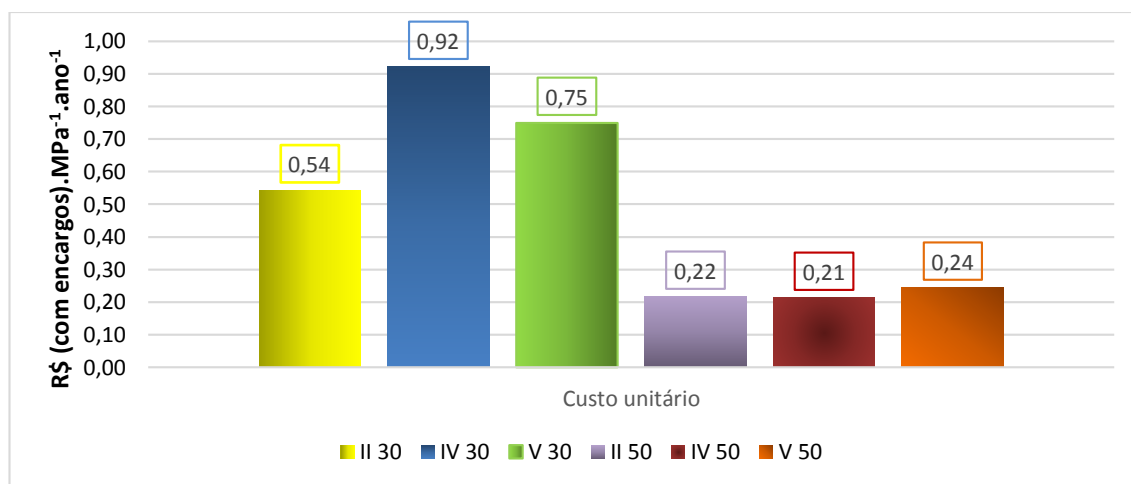
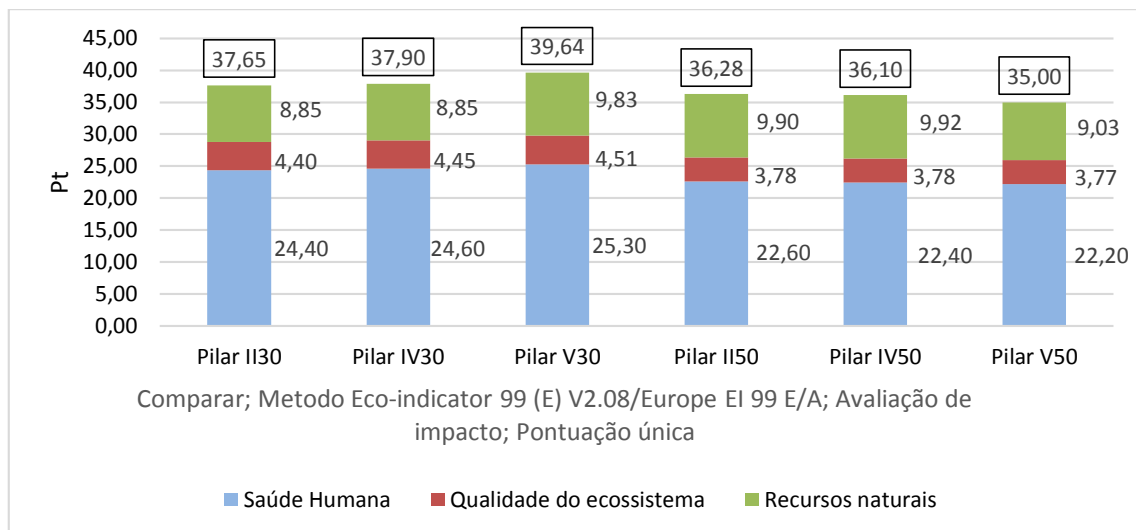


Figura 25 - Relação do custo pela resistência aos 28 dias e vida útil

## 5.4 Análise do Ciclo de Vida

### 5.4.1 Impactos totais: do berço ao túmulo

Com o lançamento dos inventários no software SimaPro 8.0.2, fez-se a Análise do Ciclo de Vida de cada alternativa de pilar. A figura 26 mostra o quantitativo, em Pt (milésimo da carga ambiental média anual de um cidadão europeu), dos impactos sobre as três classes e a somatória sobre cada conjunto de resultados.



**Figura 26 – Impactos sobre a saúde humana, ecossistemas e recursos naturais**

Nota-se que as alternativas dimensionadas com  $f_{ck} = 50$  MPa apresentam menores impactos totais, o melhor resultado do traço V50 (35,00 Pt). Os outros dois traços, II50 e IV50, apresentaram valores próximos (36,28 Pt e 36,10 Pt, respectivamente). No entanto, entre os pilares dimensionados com  $f_{ck} = 30$  MPa o cimento CPV-ARI apresentou o pior resultado de impactos totais (39,64 Pt). Os traços II30 e IV30 obtiveram valores próximos, 37,65 Pt e 37,90 Pt respectivamente. O pilar II30, único com  $f_{ck} = 30$  MPa que atingiu a vida útil mínima naturalmente, obteve o melhor resultado desse grupo novamente.

Assim, como Silva (2014) estudou o mesmo pilar nas mesmas condições da presente pesquisa, constata-se que a saúde humana é a mais afetada, seguida de recursos naturais. A autora obteve valores totais em torno de 32 Pt para 30MPa e 30 Pt para 50MPa para a fase do berço ao portão, logo, os impactos das fases do portão ao túbulo do pilar de concreto armado foram aproximadamente de 5 Pt a 8 Pt.

A tabela 22 reúne os resultados de custo total e impactos totais por pilar, apresenta os resultados unitários de custo pela resistência à compressão aos 28 dias, em MPa, e vida útil (VU), em anos, ( $R\$.MPa^{-1}.ano^{-1}$ ) e de impactos pela resistência à compressão aos 28 dias, em MPa, e vida útil (VU), em anos, ( $Pt.MPa^{-1}.ano^{-1}.10^4$ ) multiplicados por  $10^4$  para melhorar a compreensão, e a comparação dos resultados unitários através de índices, tomado o traço V50 como referência, para efeito de comparação dos resultados com os de Silva (2014). Foram calculadas as médias, os desvios padrão (DP) e coeficientes de variação (CV) dos resultados dos grupos  $f_{ck} = 30$  MPa e  $f_{ck} = 50$  MPa.

Tabela 22 – Valores totais, unitários e índices dos impactos e custos

Pilar	Impactos totais (Pt.pilar <sup>-1</sup> )	Impactos unitários (Pt.MPa <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> .10 <sup>4</sup> )	Índices dos Impactos unitários	Custo Total (R\$.pilar <sup>-1</sup> )	Custo unitário (R\$.MPa <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Índices do custo unitário
II30	37,65	183,69	303,0	1112,81	0,54	222,5
IV30	37,90	195,38	322,3	1787,26	0,92	377,6
V30	39,64	105,15	173,4	2825,95	0,75	307,2
Média / DP CV (%)	37,90 / 1,08 2,86	183,69 / 49,07 26,71		1787,26 / 863,00 48,29	0,75 / 0,19 25,28	
II50	36,28	42,73	70,5	1840,93	0,22	88,9
IV50	36,10	42,52	70,1	1808,58	0,21	87,3
<b>V50</b>	<b>35,00</b>	<b>60,62</b>	<b>100,0</b>	<b>1408,69</b>	<b>0,24</b>	<b>100,0</b>
Média / DP CV (%)	36,10 / 0,69 1,92	42,73 / 10,39 24,32		1808,58 / 240,76 13,31	0,22 / 0,02 7,79	
Variação entre 50/30 MPa (%)	-4,7	-76,74		1,19	-71,07	

Os menores impactos unitários foram dos traços II50 (42,73 Pt.MPa<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.10<sup>4</sup>) e IV50 (42,52 Pt.MPa<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.10<sup>4</sup>), muito próximos entre si. O terceiro traço do grupo  $f_{ck} = 50$  MPa (V50) apresentou um valor unitário (60,62 Pt.MPa<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.10<sup>4</sup>) aproximadamente 40% superior em relação aos traços desse grupo. Entre os traços do grupo  $f_{ck} = 30$  MPa, o cimento CPV-ARI obteve o melhor resultado (105,15 Pt.MPa<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.10<sup>4</sup>), muito inferior aos demais (II30 com 183,69 Pt.MPa<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.10<sup>4</sup> e IV30 com 195,38 Pt.MPa<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.10<sup>4</sup>). A elevada vida útil provável (103 anos) deste traço V30 contribuiu com esta disparidade no grupo  $f_{ck} = 30$  MPa. Porém, o impacto unitário deste traço é muito além dos valores do grupo  $f_{ck} = 50$  MPa, 73,4% superior a referência (V50), conforme indica os índices dos impactos unitários.

Para o cálculo dos índices, adotou-se o valor 100 para os resultados unitários (impactos e custo) do traço de referência (V50), e os resultados unitários dos outros traços foram divididos pelo resultado unitário de referência e multiplicados por 100. Observa-se que os melhores índices foram do traço IV50 (70,1 e 87,3), seguidos do traço II50 (70,5 e 88,9). Os piores índices foram do traço IV30 (322,3 e 377,6).

Os coeficientes de variação foram elevados, exceto para os resultados de impactos totais por pilar (2,86% para  $f_{ck} = 30$  MPa e 1,92% para  $f_{ck} = 50$  MPa). Já as variações dos resultados entre os dois grupos de resistência mostram os ganhos ambientais e econômicos do acréscimo do  $f_{ck}$  de 30 para 50 MPa, 76,74% e 71,07%, respectivamente.

## 5.4.2 Impactos individuais

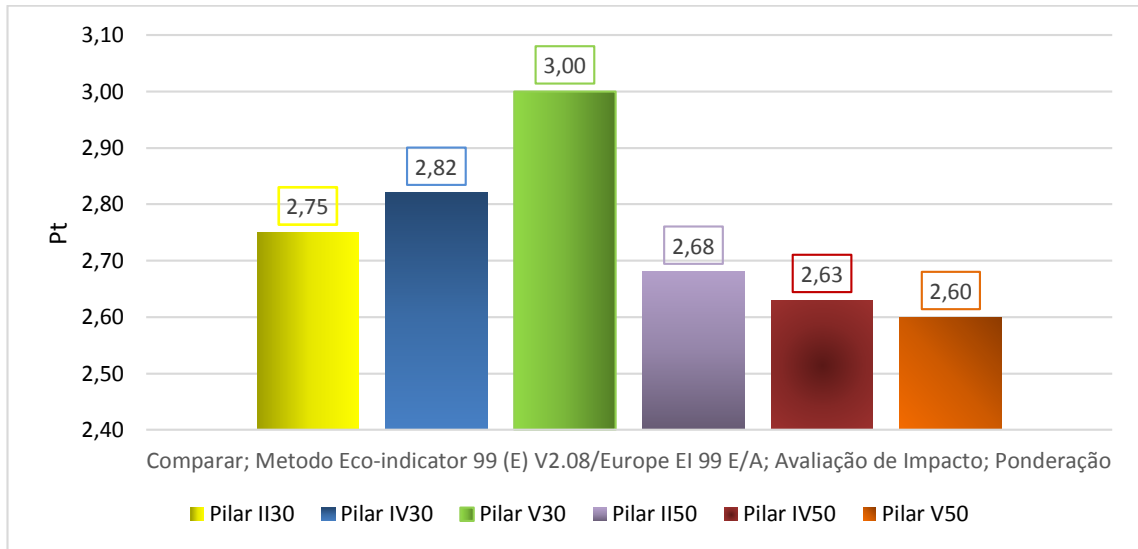
A fim de melhor compreender os impactos totais calculados em 5.4.1, foram analisados separadamente as cinco categorias dos aspectos ambientais mais relevantes considerando a vida útil estimada provável para cada pilar de concreto armado. Além das cinco categorias principais, o programa SimaPro 8.0.2 apresenta outros impactos, tais como emissão de carcinógenos, radiação, impacto sobre a camada de ozônio, uso do solo, entre outros. Todavia, fez-se a análise apenas dos impactos mais relevantes, de acordo com a metodologia da análise do ciclo de vida modular (ACV-m) conforme o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS, 2014), além do cálculo do dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2e</sub>), em separado dos demais, como balizamento da pegada de carbono.

### 5.4.2.1 Mudanças climáticas

Primeiramente, na categoria “Mudanças Climáticas”, os resultados são expressos em Pt (milésimo da carga ambiental média anual de um cidadão europeu), mostrados na figura 27. Os três traços dimensionados para  $f_{ck}$  30 MPa apresentaram os piores resultados, dentre estes, o traço II30, único que não necessitou uso de proteção superficial para alcançar a vida útil mínima estabelecida (50 anos), obteve o melhor resultado (2,75 Pt). No grupo  $f_{ck} = 50$  MPa, o melhor resultado foi do pilar V50 (2,60 Pt), que apresentou a menor vida útil desse grupo (102 anos).

É preciso destacar o pequeno acréscimo que ocorreu nessa categoria desde a produção do pilar. Silva (2014) obteve valores em torno de 2,6 Pt para pilares com  $f_{ck} = 30$  MPa e 2,5 Pt para pilares com  $f_{ck} = 50$  MPa, com pequena variação em ambos. O acréscimo de impacto ambiental na categoria mudanças climáticas foi de 0,1 Pt a 0,4 Pt. Observa-se que as fases de uso, manutenção, descarte e reciclagem tiveram baixo impacto neste item.

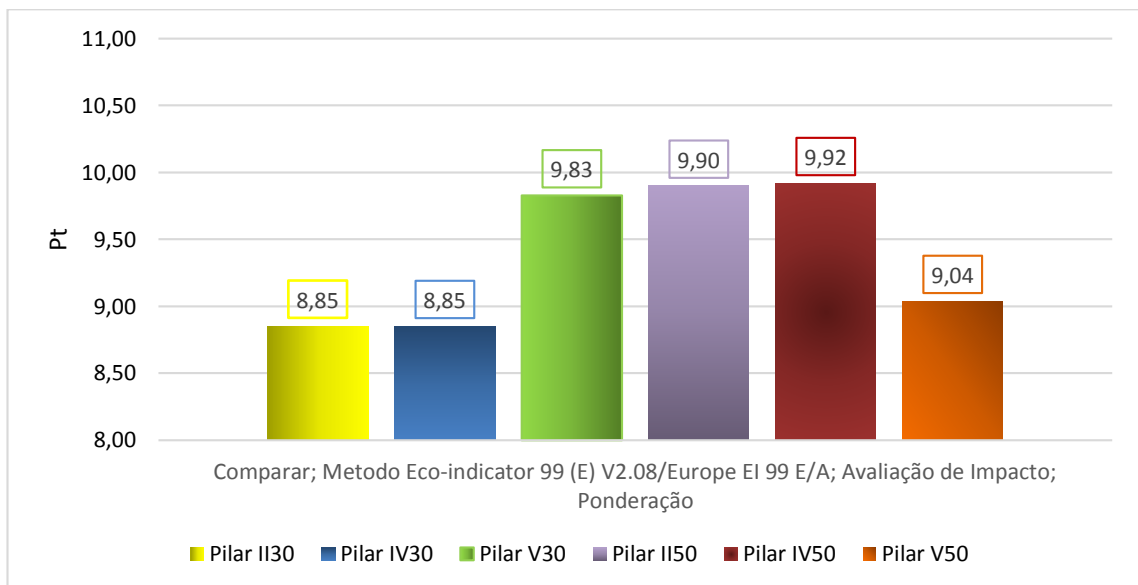




**Figura 27 – Ponderação de mudanças climáticas para cada alternativa de pilar**

#### 5.4.2.2 Consumo de recursos naturais

Na categoria de utilização de recursos naturais (figura 28) os resultados agruparam-se de maneira diferente.

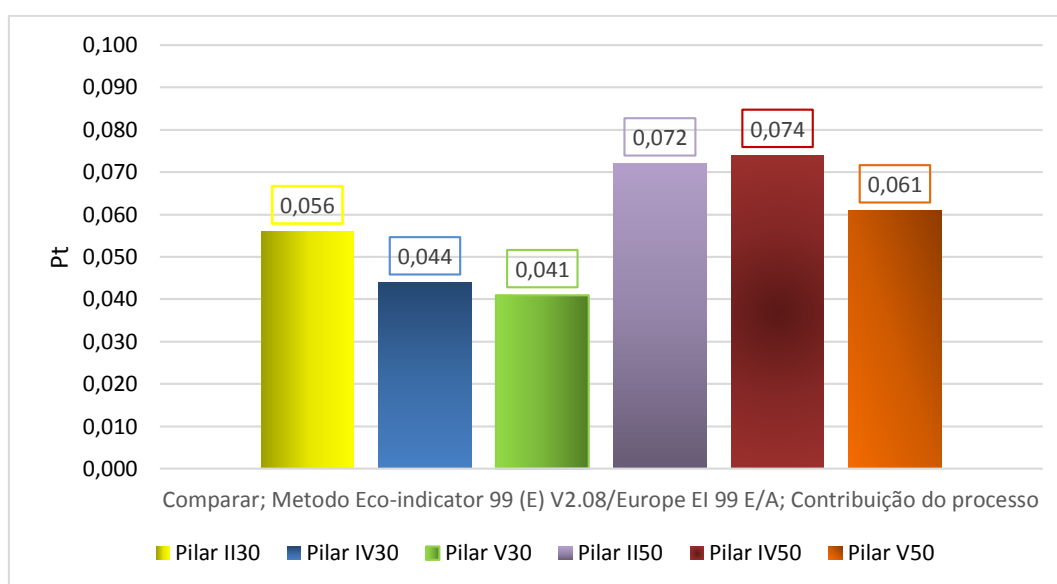


**Figura 28 – Ponderação de utilização de recursos naturais para cada alternativa de pilar**

Os menores valores foram dos traços II30 (8,85 Pt), IV30 (8,85 Pt) e V50 (9,04 Pt). Silva (2014) obteve valores em torno de 7,55 para pilares dimensionados com  $f_{ck}$  30 MPa e 7,16 para pilares com  $f_{ck}$  50 MPa. Logo, o acréscimo de utilização de recursos naturais nas fases pós-construção foi de 1 Pt a 3 Pt.

### 5.4.2.3 Consumo de energia

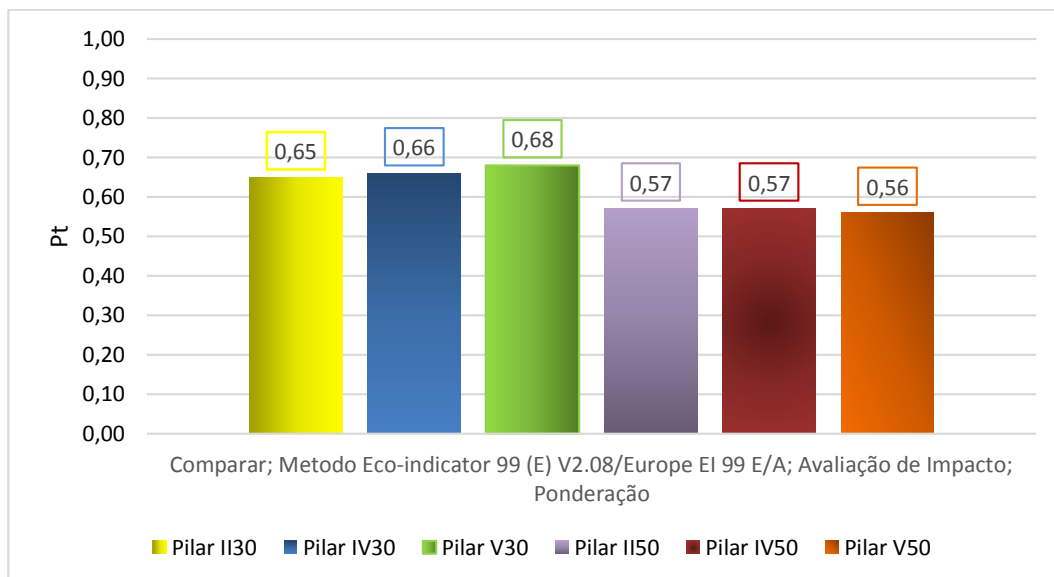
Os resultados para o item “Consumo de energia” estão na figura 29. Nessa categoria Silva (2014) apresentou resultados em MJ, ao contrário desta pesquisa que apresenta em Pt. Os valores foram pequenos, os menores foram os traços V30 (0,041 Pt) e IV30 (0,044 Pt). A considerar que um Pt equivale a um milésimo da carga ambiental média anual de um cidadão europeu, o consumo de energia de todo o ciclo de vida de um pilar de concreto armado, que inclui consumo de energia da betoneira (fase de construção) e do lava-jato (fase de uso) nesta pesquisa, deve ser exíguo.



**Figura 29 – Ponderação de consumo de energia para as alternativas de pilar**

### 5.4.2.4 Geração de Resíduos

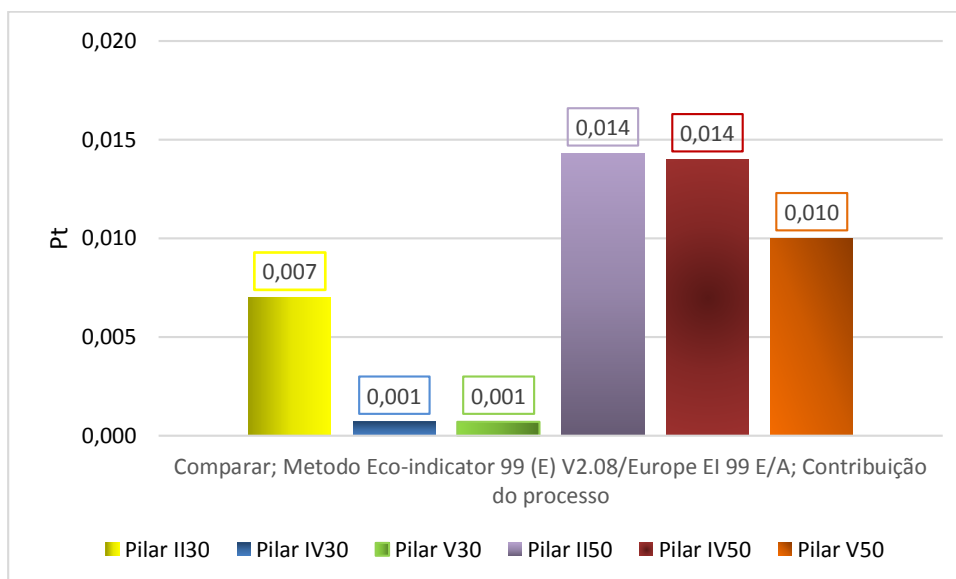
Já para a categoria de “Geração de resíduos”, os valores mantiveram-se baixos, pois considerou-se que o material sofreu reciclagem, com 5% de perdas do material. Silva (2014) obteve números que variaram de 0,36 a 0,40, portanto, por meio da figura 30, observa-se que os valores aumentaram em torno de 60% até o fim da vida útil dos pilares. Da mesma forma que observado pela autora, os traços do grupo  $f_{ck} = 30$  MPa apresentaram impactos superiores aos traços do grupo  $f_{ck} = 50$  MPa.



**Figura 30 – Ponderação de geração de resíduos para as alternativas de pilar**

#### 5.4.2.5 Consumo de água

Para o consumo de água, a relação água/cimento era preponderante até a execução do pilar. Silva (2014) apresentou valores de água em m<sup>3</sup>, e destacou a proximidade de resultados nos traços com diferentes cimentos na resistência de 30 MPa e proximidade de resultados para os dimensionados com 50 MPa, estes com menor consumo que os primeiros citados. No período pós-construção o uso de água foi intensificado com o passar do tempo, nas lavagens periódicas dos traços que apresentaram vida útil mínima estabelecida (50 anos). Nos demais traços (IV30 e V30), as lavagens foram dispensadas devido a manutenção da estética pelas pinturas com tinta acrílica. Ou seja, o consumo de água foi superior em pilares com estimativa de vida útil maiores. Os resultados para a vida útil completa são mostrados na figura 31 em Pt.



**Figura 31 – Ponderação de consumo de água para as alternativas de pilar**

São valores baixos, mesmo caso do consumo de energia. O impacto foi maior nos dois traços com vida útil provável de 150 anos, II50 (0,014 Pt) e IV50 (0,014 Pt).

#### 5.4.2.6 Pegada de Carbono

O cálculo do gás carbônico equivalente (CO<sub>2e</sub>) foi realizado conforme descrito no capítulo IV. As substâncias relevantes para o cálculo (obtidas no inventário no programa SimaPro 8.0.2) foram multiplicadas pelos seus respectivos fatores de relevância conforme tabela 16, e fez-se o somatório ( $\Sigma$  substância.fator) para cada alternativa de pilar. Desses valores, foram reduzidos os valores de CO<sub>2</sub> absorvido pelo pilar ao longo da vida útil estimada provável (tabela 23).

**Tabela 23 – Dióxido de carbono equivalente de cada alternativa de pilar**

Pilar	$\Sigma$ (substância.fator) (kg.pilar <sup>-1</sup> )	Absorção de CO <sub>2</sub> (kg.pilar <sup>-1</sup> )	CO <sub>2e</sub> (kg.pilar <sup>-1</sup> )
II30	308,18	11,88	296,31
IV30	305,66	10,26	295,41
V 30	332,77	13,90	318,87
II 50	299,24	12,16	287,08
IV 50	297,54	9,22	288,32
V 50	284,38	13,90	274,48

Constata-se que a absorção de gás carbônico durante o período de vida útil é de 3 a 5% do total emitido. Após o período de reciclagem, o concreto passa por um processo de

moagem, aumenta sua área específica e, conseqüentemente, acelera a ação da carbonatação. Porém, as condições de exposição, granulometria e aplicação são muito variáveis, portanto, optou-se pelo comparativo igualitário, onde o início da ACV se daria na extração dos materiais e o fim no momento do descarte e condicionamento para a reciclagem.

A emissão de gás carbônico equivalente dos pilares dimensionados para  $f_{ck}=50$  MPa foram inferiores aos valores do outro grupo de resistência, destaca-se o traço V50 com o melhor resultado: 274,48 kg.pilar<sup>-1</sup>. O mesmo cimento CPV-ARI, porém, dimensionado para  $f_{ck}=30$  MPa, apresentou o maior valor de gás carbônico equivalente, de 318,87 kg.pilar<sup>-1</sup>.

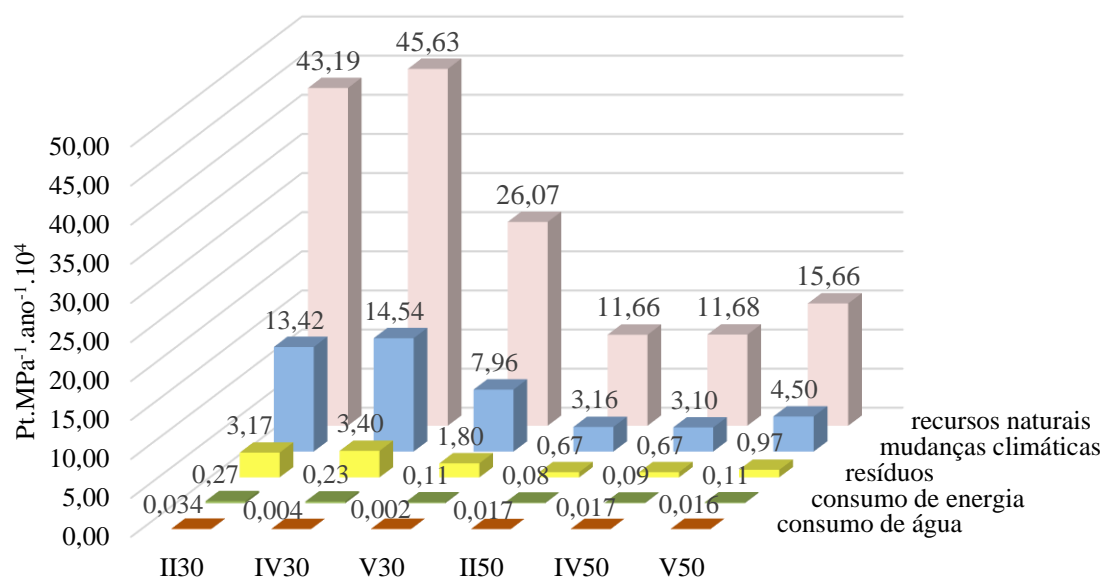
#### 5.4.3 Análise unitária dos resultados de impactos individuais

Do mesmo modo com que foram calculados os impactos totais unitários, por unidade de resistência (MPa<sup>-1</sup>) e de vida útil (ano<sup>-1</sup>) multiplicados por 10<sup>4</sup> (valor arbitrário para tornar os resultados mais claros), serão apresentados a seguir os cálculos para os impactos individuais. A tabela 24 mostra os índices em relação à referência (V50) dos seis itens individuais analisados.

**Tabela 24 –Impactos individuais unitários e índices**

<b>Impacto individual</b>	<b>Unidade</b>	<b>II30</b>	<b>IV30</b>	<b>V30</b>	<b>II50</b>	<b>IV50</b>	<b>V50</b>
Mudanças climáticas	Pt.MPa <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> .10 <sup>4</sup>	13,42	14,54	7,96	3,16	3,10	<b>4,50</b>
Índice	-	297,9	322,8	176,7	70,1	68,8	<b>100,0</b>
Recursos naturais	Pt.MPa <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> .10 <sup>4</sup>	43,19	45,63	26,07	11,66	11,68	<b>15,66</b>
Índice	-	275,9	291,5	166,5	74,5	74,6	<b>100,0</b>
Consumo de energia	Pt.MPa <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> .10 <sup>4</sup>	0,27	0,23	0,11	0,08	0,09	<b>0,11</b>
Índice	-	258,6	214,7	102,9	80,3	82,5	<b>100,0</b>
Resíduos	Pt.MPa <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> .10 <sup>4</sup>	3,17	3,40	1,80	0,67	0,67	<b>0,97</b>
Índice	-	326,9	350,8	186,0	69,2	69,2	<b>100,0</b>
Consumo de água	Pt.MPa <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> .10 <sup>4</sup>	0,034	0,004	0,002	0,017	0,016	<b>0,017</b>
Índice	-	197,2	20,8	10,7	97,2	95,2	<b>100,0</b>
Pegada de carbono	CO <sub>2</sub> e.MPa <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> .10 <sup>4</sup>	1445,67	1522,88	845,86	338,14	339,60	<b>475,44</b>
Índice	-	304,1	320,3	177,9	71,1	71,4	<b>100,0</b>

A análise dos resultados por meio dos dados unitários de resistência e de vida útil são mais úteis e claros para avaliar a sustentabilidade de uma unidade funcional, porque melhor traduzem os impactos, sejam individuais ou totais sobre o meio ambiente. A figura 32 reúne os resultados unitários dos cinco primeiros itens da tabela 24.



**Figura 32 – Impactos individuais unitários**

Considerando-se somente os impactos individuais que possuem a mesma unidade,  $\text{Pt.MPa}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1} \cdot 10^4$ , observa-se a seguinte ordem decrescente: recursos naturais > mudanças climáticas > resíduos > consumo de energia > consumo de água. Assim, os recursos naturais são os impactos individuais mais importantes, apresentando valores, em média, 3,5 vezes maiores do que o segundo – mudanças climáticas. Os três demais impactos, resíduos, consumo de energia e de água apresentam valores bem mais baixos.

Exceto no item consumo de água, observa-se que os piores desempenhos foram dos pilares com resistência característica de 30 MPa. Dentre estes, os melhores índices foram do cimento CPV-ARI. No item recursos naturais, o impacto individual com os maiores valores, o traço V30 apresentou o valor unitário  $26,07 \text{ Pt.MPa}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1} \cdot 10^4$ , já os traços II30 e IV30 os valores  $43,19 \text{ Pt.MPa}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1} \cdot 10^4$  e  $45,63 \text{ Pt.MPa}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1} \cdot 10^4$ . Em relação ao grupo  $f_{ck}=50 \text{ MPa}$ , os cimentos CII-Z e CPIV, com valores muito próximos, superaram o cimento CPV-ARI, com índices inferiores nas seis categorias. Os traços II50 e IV50 obtiveram valores de  $11,66$  e  $11,68 \text{ Pt.MPa}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1} \cdot 10^4$  no item recursos naturais, respectivamente.

Com respeito à pegada do carbono  $\text{CO}_2\text{e}$ , observa-se que o aumento do nível da resistência característica de 30 para 50 MPa diminui mais de 3 vezes a emissão unitária dos gases do efeito estufa, dado as maiores estimativas de vida útil dos traços com  $f_{ck} = 50 \text{ MPa}$ .

Os menores valores foram dos cimentos CPII-Z ( $338,14 \text{ CO}_2\text{e.MPa}^{-1}.\text{ano}^{-1}.10^4$ ) e CPIV ( $339,60 \text{ CO}_2\text{e.MPa}^{-1}.\text{ano}^{-1}.10^4$ ).

A opção por uma resistência característica superior demonstra-se uma escolha ambientalmente adequada, independentemente do cimento utilizado, dado que é uma especificação definida no momento do projeto.

## 5.5 Avaliação global dos resultados de custo e sustentabilidade

Para determinar a melhor opção estudada faz-se necessário reunir os dados de sustentabilidade e custo, obtidos através do programa computacional SimaPro 8.0.2 e orçamento de toda vida útil do pilar de concreto armado, em um único índice. A melhor maneira de integrar a ACV com a CCV é pela média geométrica entre custos e impactos totais (HA et al., 2006). Os resultados de custo estão vinculados à unidade Real (R\$), e os resultados de sustentabilidade à unidade Pt, portanto, os índices foram utilizados para realizar a média geométrica, pois são adimensionais. A tabela 25 reúne os índices dos impactos unitários e custo unitário, apresentados anteriormente. A média geométrica é dada pela raiz quadrada do produto dos dois índices de cada pilar.

**Tabela 25 – Média geométrica dos resultados unitários dos impactos totais e custo**

Pilar	Índices dos Impactos unitários (Ia)	Índices do custo unitário (Ie)	MG = $Ia \cdot Ie^{0,5}$
II30	303,0	222,5	259,7
IV30	322,3	377,6	348,8
V30	173,4	307,2	230,8
Média / desvio padrão (30 MPa) Coeficiente de variação (%)			259,66 / 61,52 23,69
II50	70,5	88,9	79,1
IV50	70,1	87,3	78,3
<b>V50</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
Média/desvio padrão (50 MPa) Coeficiente de variação (%)			79,14 / 12,31 15,55
Variação entre 50/30 MPa (%)			-69,52

Comprova-se que as duas melhores alternativas apresentam valores da média geométrica próximos, os traços II50 (79,1) e IV50 (78,3). A pior opção foi do pilar IV30 (348,8), mas de maneira geral, os pilares dimensionados com  $f_{ck}=30 \text{ MPa}$  obtiveram média

geométrica superiores aos pilares dimensionados com  $f_{ck}=50$  MPa. A média dos três pilares com menor resistência característica foi 259,66, com um coeficiente de variação de 23,69%. O coeficiente de variação foi alto devido a elevada média geométrica do traço IV30 em relação aos demais com  $f_{ck}=30$  MPa. A média dos três traços com  $f_{ck}=50$  MPa foi de 79,14, com coeficiente de variação de 15,55%. O ganho de custo/benefício foi de 69,52% no acréscimo de resistência de 30 para 50 MPa. Ou seja, há uma grande vantagem econômica/ambiental em dimensionar o pilar com resistência característica superior (50 MPa).

Ao avaliar os resultados globais em igualdade de cimento, observa-se que o cimento CPV-ARI obteve o melhor resultado entre os traços com  $f_{ck}=30$  MPa (230,8), porém, o pior resultado dos pilares com  $f_{ck}=50$  MPa (100). O cimento CPIV apresentou o oposto, o pior resultado entre os traços com  $f_{ck}=30$  MPa (348,8) e o melhor entre os traços com  $f_{ck}=50$  MPa (78,3). Já o cimento CII-Z apresentou as duas médias geométricas próximas às menores nos dois grupos de resistência,  $MG=259,7$  no grupo  $f_{ck}=30$  MPa e  $MG=79,1$  no grupo  $f_{ck}=50$  MPa.

Constata-se que a alteração do cimento não influenciou de forma tão intensa os resultados combinados de custo e impactos ambientais totais quanto o acréscimo de resistência característica. Não houve um único cimento que se destacou nos dois grupos de resistência simultaneamente. Independente do cimento utilizado, o dimensionamento do pilar para resistência característica superior (50 MPa) em relação à menor (30 MPa) mostra-se uma escolha custo/benefício apropriada, pela avaliação global dos resultados.



## 6 CONCLUSÕES

Na etapa de dimensionamento, foi constatado a possibilidade de redução no consumo de materiais, primordialmente no consumo do concreto. A definição das resistências características de 30 e 50 MPa geraram pilares com características distintas, que foram decisivas nas etapas subsequentes. A seção do pilar dimensionado para 30 MPa foi de 25 x 45 cm, já para 50 MPa as dimensões foram 20 x 40 cm. Dado que o pé direito era o mesmo, a área superficial e volume de concreto eram diferentes: 3,85 m<sup>2</sup> de área e 0,309 m<sup>3</sup> de volume do concreto com 30 MPa, e 3,3 m<sup>2</sup> e 0,220 m<sup>3</sup> do concreto com 50 MPa. Além da desmaterialização em si, a redução da área superficial reduziu o consumo de água na limpeza ou tinta nas pinturas, e o menor volume favoreceu na desconstrução.

Outra variável foi a adoção do cimento. Nesta pesquisa foram utilizados os cimentos CII-Z, CIII e CPV-ARI. Portanto, a pesquisa envolveu seis alternativas distintas.

Os resultados totais foram apresentados em três classes afetadas, são elas “saúde humana”, “qualidade do ecossistema” e “recursos naturais”. Ao avaliar de forma unitária, tanto para a resistência, MPa<sup>-1</sup>, como para a vida útil, ano<sup>-1</sup>, os menores valores de impactos totais ficaram com os traços IV50 (42,52 Pt.MPa<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.10<sup>4</sup>), II50 (42,73 Pt.MPa<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.10<sup>4</sup>) e V50 (60,62 Pt.MPa<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.10<sup>4</sup>), nesta sequência. O traço V30 apresentou o melhor resultado entre o grupo de  $f_{ck} = 30$  MPa (105,15 Pt.MPa<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.10<sup>4</sup>). Posteriormente, avaliou-se o custo também de maneira unitária, ao dividir os custos pela resistência aos 28 dias e vida útil provável. Os resultados do grupo de  $f_{ck} = 50$  MPa foram melhores, destacaram-se os cimentos CIII (0,21 R\$.MPa<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) e CII-Z (0,22 R\$.MPa<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>). Os piores resultados foram do traço IV30 (0,92 R\$.MPa<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) e V30 (0,75 R\$.MPa<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>).

Na análise dos impactos individuais foram avaliadas seis categorias: “mudanças climáticas”, “recursos naturais”, “consumo de energia”, “resíduos”, “consumo de água” e “pegada de carbono”. Os resultados também foram avaliados de forma unitária, ao dividir os resultados dos impactos individuais pelas resistências aos 28 dias e pelas vidas úteis estimadas prováveis, e multiplicados por 10<sup>4</sup>. Nestas circunstâncias, os melhores resultados foram dos pilares com  $f_{ck} = 50$  MPa, destacam-se os traços II50 e IV50, com resultados muito próximos nos seis itens individuais avaliados, e o V50 um pouco aquém. Os resultados unitários dos impactos sobre “recursos naturais” foram maiores que nos outros quatro itens (“mudanças climáticas”, “consumo de energia”, “resíduos” e “consumo de água”) com mesma unidade (Pt.MPa<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.10<sup>4</sup>), os melhores resultados foram do traço II50 (11,66 Pt.MPa<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.10<sup>4</sup>), e do traço IV50 (11,68 Pt.MPa<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.10<sup>4</sup>). Os piores resultados foram dos traços IV30

(45,63 Pt.MPa<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.10<sup>4</sup>) e II30 (43,19 Pt.MPa<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.10<sup>4</sup>). Os resultados de pegada de carbono mostraram que os traços II50 (338,14 CO<sub>2</sub>e.MPa<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.10<sup>4</sup>) e IV50 (339,60 CO<sub>2</sub>e.MPa<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.10<sup>4</sup>) geraram menores valores unitários de gás carbônico equivalente, e os traços IV30 (1522,88 CO<sub>2</sub>e.MPa<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.10<sup>4</sup>) e II30 (1445,67 CO<sub>2</sub>e.MPa<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.10<sup>4</sup>) os piores valores.

Ao fim, avaliaram-se os resultados dos impactos totais e de custo por meio da média geométrica (MG) dos índices (Ia e Ie, respectivamente) de cada opção de pilar, com o traço V50 como referência (100). Os pilares do grupo  $f_{ck} = 50$  MPa (II50 com MG = 79,1, IV50 com MG = 78,3 e V50 com MG = 100) apresentaram médias geométricas menores que o grupo  $f_{ck} = 30$  MPa (IV30 com MG = 348,8, II30 com MG = 259,7 e V30 com MG = 230,8). O ganho de custo/benefício foi de 69,52% no acréscimo de resistência de 30 para 50 MPa. Os resultados não apontaram um único cimento como melhor escolha nas duas resistências características, no grupo  $f_{ck} = 30$  MPa o melhor cimento foi o CPV-ARI (230,8) e no grupo  $f_{ck} = 50$  MPa o cimento com melhor custo/benefício foi o CPIV (78,3). O cimento CII-Z obteve resultados próximos aos melhores em cada grupo, com MG=259,7 no grupo  $f_{ck} = 30$  MPa e MG=79,1 no grupo  $f_{ck} = 50$  MPa.

Ao agrupar todos os resultados, constatou-se que:

- A vida útil estimada nas condições de igualdade de resistência foi afetada por diversos fatores que acarretaram sinergias, dentre eles está a relação água/aglomerante. Com o cimento CPV-ARI, a resistência foi mais facilmente alcançada, porém, a alta relação água/aglomerante permitiu uma microestrutura mais porosa, oportuna à difusão de CO<sub>2</sub>.

- A utilização de um cimento que contém maior substituição do clínquer não significa necessariamente em maior sustentabilidade total. É preciso avaliar de caso a caso, neste estudo o cimento com maior teor de substituição (CPIV) afetou a durabilidade, devido, provavelmente, à baixa reserva alcalina no caso dos concretos de resistência de 30 MPa.

- O acréscimo de resistência de 30 para 50 MPa é mais benéfica em termos econômicos e ambientais, independentemente do cimento utilizado.

- O cimento CPIV apresentou o melhor resultado combinado de custo e impactos ambientais totais (78,3) no grupo  $f_{ck} = 50$  MPa, próximo ao cimento CII-Z (79,1).

- O cimento CPV-ARI apresentou o melhor resultado no grupo  $f_{ck} = 30$  MPa (230,8).

Sugere-se, em futuros estudos, que se faça uma análise completa com mais variáveis, tais como a utilização de misturas binárias e ternárias em cimento, pilares dimensionados com outras resistências características, estimativa de vida útil com diferentes métodos, análise de módulo de elasticidade, fissuração e outros agentes agressivos.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCV. **Associação Brasileira de Ciclo de Vida**. Disponível em: <<http://acv.ibict.br>> Acesso em: 05 maio de 2014.

ABCP – **Associação Brasileira de Cimento Portland**. Pesquisa inédita e exclusiva revela cenário do mercado brasileiro de concreto, 2013. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/imprensa/pesquisa-inedita-e-exclusiva-revela-cenario-do-mercado-brasileiro-de-concreto#.U7b4eZRdWN1>>. Acesso em 04 de julho de 2014.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5733 – Cimento Portland de alta resistência inicial**. São Paulo; ABNT, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 5736 – Cimento Portland pozolânico**. São Paulo; ABNT, 1999.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto armado - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211 – Agregados para concreto**. São Paulo; ABNT, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215 – Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. São Paulo; ABNT, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 7809 – Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – método de ensaio**. São Paulo; ABNT, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 11578 – Cimento Portland composto - Especificação**. São Paulo; ABNT, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 11579 - Cimento Portland – Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)**. São Paulo; ABNT, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 11768 – Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos**. São Paulo; ABNT, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 12655 - Concreto de cimento Portland. Preparo, controle e recebimento. Procedimento**. ABNT, Rio de Janeiro. Revisão 2006, 18 pg.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-1: edificações habitacionais: desempenho: parte 1: requisitos gerais**. Rio de Janeiro; ABNT, 2013.

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

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14044 - Gestão ambiental – Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações.** Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 23 - Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica.** São Paulo; ABNT, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 30 – Agregado miúdo – Determinação da absorção de água.** São Paulo; ABNT, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 43 – Cimento Portland– Determinação da pasta de consistência normal.** São Paulo; ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 45 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** São Paulo; ABNT, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 51 – Agregado graúdo – Ensaio de abrasão “Los Angeles”.** São Paulo; ABNT, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52 – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente.** São Paulo; ABNT, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 53 – Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção.** São Paulo; ABNT, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 65 – Cimento Portland – Determinação do tempo de pega.** São Paulo; ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica.** São Paulo; ABNT, 2003.

AGOPYAN, V., JOHN, V. M. **O desafio da sustentabilidade na Construção Civil.** São Paulo: Blucher, 2011 (Série Sustentabilidade, 5).

AGUIAR, J. L.; RAMOS, A. C; SOARES, H. I. **Durability of concrete protected by na acrylic painting.** International Congresso n Global Construction, Dundee, UK, 2005.

ALMEIDA, C.M.V.B. de, GIANNETTI, B. F. **Ecologia ambiental.** São Paulo: Blucher, 2006.

ALTOQI. Site da empresa. Disponível em: <<http://www.altoqi.com.br>>. Acesso em: 14 de maio de 2013.

ANDRADE, J. J. de O. **Contribuições à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras: iniciação por cloretos.** Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

AUTODESK. **Software para estudantes e professores.** 2014. Disponível em <<http://www.autodesk.com.br>> Acesso em 01 de março de 2014.

AZEVEDO, M. T. Patologia das estruturas de concreto. In: Isaia, G. C. (Ed.). **Concreto: ciência e tecnologia**. 1 ed. São Paulo, IBRACON, 2011.

BAKKER, R. F. M. Initiation period. In: SCHIESSL, P. (Ed.). **Corrosion of steel in concrete**. New York: RILEM. Chapman and Hall, 1988.

BAROGHEL-BOUNY, V; CUSSIGH, F.; ROUGEAU, P. L'approche performantielle de la durabilité des bétons. In: OLLIVIER, J., P.; VICHOT, A. (Eds.) **La durabilité des bétons**. Paris: Presses Ponts et Chaussées, 2008, p. 281-302.

BOLIGIAN, L.; MARTINEZ, R.; GARCIA, W.; ALVES, A. **Geografia espaço e vivência**. 3ª edição, editora Atual, 2009.

BRASIL. **Decreto-Lei nº 7390**, de 9 de dezembro de 2010.

\_\_\_\_\_. Ministério da Ciência e Tecnologia, **Fatores de Emissão de CO<sub>2</sub> pela energia elétrica do Sistema Interligado Nacional do Brasil**, 2010. Disponível em <[www.mct.gov.br/clima](http://www.mct.gov.br/clima)>. Acesso em: 12 out. 2013

\_\_\_\_\_. **Sistema nacional de pesquisa de custos e índices da construção civil**. Disponível em <[www.caixa.gov.br/sinapi](http://www.caixa.gov.br/sinapi)>. Acesso em 15 de agosto de 2014.

BROWN, L. R. **Eco-Economia: construindo uma economia para a terra**. UMA - Universidade Livre da Mata Atlântica, Salvador, 2003.

CAMPOS, É. F. de. **Projeto avaliação de ciclo de vida simplificada para blocos de concreto**. Seminário ACV-s, Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, São Paulo, 2012.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas**. Goiânia. UFG; Co-edição São Paulo: Pini, 1997.

CASCUDO, O; CARASEK, H. Ação da carbonatação no concreto. In: Isaia, G. C. (Ed.). **Concreto: ciência e tecnologia**. 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2011.

CASTRO, A. **Influência das adições minerais na durabilidade do concreto sujeito à carbonatação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2003.

CESEC. **Flexão composta oblíqua**. Disponível em: <<http://www.cesec.ufpr.br/>>. Acesso em 22 de fevereiro de 2014.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro, 1998.

CLIFTON, J. R. **Predicting the remaining service life of concrete**. National Institute of Standard and Technology(NML), Gaithersburg, EUA, 1991.

COLLINS, F. **Inclusion of carbonation during the life cycle of built and recycled concrete: influence on their carbon footprint.** The International Journal of Life Cycle Assessment, v. 15, n. 6, 2010.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. Projeto ACV-m: Avaliação do Ciclo de Vida Modular. Disponível em: <http://www.acv.net.br/website/acvs/show.asp?ppgCode=B7EEA3A3-747A-457B-8210-EC73F949FB82>. Acesso em 30 de junho de 2014.

CYBIS, L. F.; SANTOS, C. V. J. dos. **Análise do ciclo de vida (ACV) aplicada à indústria da construção civil – estudo de caso.** XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, 2000.

DEL PINO, J. C.; KRUGER, V.; FERREIRA, M. **Poluição do Ar.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

FIGUEIREDO, E. P. Efeitos da carbonatação e de cloretos no concreto. In: **Concreto: ensino, pesquisa e realizações.** 2v. ed. Geraldo C. Isaia. São Paulo: IBRACON, 2005.

FRIZZO, B. T. **Influência do teor e da finura de pozolanas na permeabilidade ao oxigênio e na absorção capilar do concreto.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, 2001.

GIANNETTI, B. F., ALMEIDA, C. M. V. B., BOUER, E. **Ecologia Industrial - Ferramentas.** Disponível: <[http://www.universoambiental.com.br/novo/artigos\\_1er.php?canal=10&canallocal=15&canalsub2=95&id=191](http://www.universoambiental.com.br/novo/artigos_1er.php?canal=10&canallocal=15&canalsub2=95&id=191)>. Acesso em 27 de maio de 2014.

GUERREIRO, A. Q. **Avaliação do ciclo de vida dos cimentos de produção mais significativos no Brasil.** Monografia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2014.

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).

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado.** Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.

HELENE, P. R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado.** São Paulo: Pini: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1986.

HELENE, P. R. L. Vida Útil das Estruturas de Concreto. In: IV Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle de Qualidade. *Anais.* v.1. p. 1-30, Porto Alegre, 1997.

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

HELENE, P. R. L.; VIEIRA, J.O.; ANDRADE, T.; DELGADO, C.; JUST, A. **Influência da relação água / cimento e abatimento na carbonatação do concreto**. Publicação IBRACON 1999.

HO, D., LEWIS, R. **Carbonation of concrete and its prediction**. Cement and Concrete Research. 1987.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade 2013**. Instituto Aço Brasil, 2013. 49 p.

INSTITUTO CARBONO BRASIL. **Mudanças climáticas**. (site). Disponível <[http://www.institutocarbonobrasil.org.br/mudancas\\_climaticas](http://www.institutocarbonobrasil.org.br/mudancas_climaticas)>. Acesso em 20 de maio de 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **General Principles on the Design of Structures for Durability - ISO 13823**. Geneva: ISO/TC, 2008.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2007: Mitigation of Climate Change**. IPCC, 2007a. Disponível em <[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_ipcc\\_fourth\\_assessment\\_report\\_wg3\\_report\\_mitigation\\_of\\_climate\\_change.htm](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg3_report_mitigation_of_climate_change.htm)>. Acesso em 20 de maio de 2014.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2014: Mitigation of Climate Change**. IPCC, 2014. Disponível em <[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_full.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_full.pdf)>. Acesso em 02 de março de 2015.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Fourth Assessment Report – Global Warming Potentials (GWP) relative to CO<sub>2</sub>. 2007b.

ISAIA, G. C.; VAGHETTI, M.; GASTALDINI, A. L. G. **Comparative study of natural and accelerated carbonation tests of HPC with pozzolans: a preliminary approach**. In: 3rd International Conference on High-Performance concrete, v. 1. p. 467-488, Recife. Proceedings 3rd International Conference on HPC. Farmington Hills, Michigan, US: American Concrete Institute, 2002.

ITAMBÉ. **Cimento**. Curitiba, Itambé, 2010. 20 p.

JOHN, V. M. Concreto sustentável. In: Isaia, G. C. (Ed.). **Concreto: ciência e tecnologia**. 1 ed. São Paulo, IBRACON, 2011.

JOHN, V. M. Desafios da construção sustentável. In: **Boas práticas para habitação mais sustentável**. JOHN, V. M.; PRADO, R. T. A. (Coord.). São Paulo, 2010.

KAZMIERCZAK, C. S. Proteção superficial do concreto. In: **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. 2v. ed. Geraldo C. Isaia. São Paulo: IBRACON, 2005.

KAZMIERCZAK, C. S.; HELENE, P. **Determinação da eficiência de películas usadas como proteção contra carbonatação.** Boletim Técnico – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 20p., 1995.

LAGERBLAD, B. **Carbon dioxide uptake during concrete life cycle–State of the art.** Swedish Cement and Concrete Research Institute – CBI, 2006.

LIMA, J. A. R. de, **Avaliação das consequências da produção de concreto no Brasil para as mudanças climáticas.** Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J. O.; HELENE, P. Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. In: Isaia, G. C. (Ed.). **Concreto: ciência e tecnologia.** 1 ed. São Paulo, IBRACON, 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: IBRACON, 2008.

MOREIRA, P. M.; AGUIAR, J. B.; CAMÕES, A. **Systems for superficial protection of concretes.** International Symposium Polymers in Concrete, Guimarães, Portugal, 2006.

NEPOMUCENO, A. A. Mecanismos de transporte de fluídos no concreto. In: **Concreto: ensino, pesquisa e realizações.** 2v. ed. Geraldo C. Isaia. São Paulo: IBRACON, 2005.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** São Paulo, Pini, 1997.

NIELSEN, C. V. **Carbon footprint of concrete buildings seen in the life cycle perspective.** Proceedings of NRMCA, Concrete Technology Forum, 2008.

O'CONNOR, J. Survey on actual service lives for North American buildings. In: **Woodframe Housing Durability and Disaster Issues Conference, Las Vegas.** 2004.

O'NEILL, T. J. **Life cycle assessment and environmental impact of polymeric products.** Rapra Review Reports, Vol. 13, 2003.

OLLIVIER, J. P. **Durability of concrete.** São Paulo: Escola Politécnica da USP, Boletim Técnico, 1998.

OUR COMMON FUTURE. **Relatório Bruntland,** 1987. Disponível em <<http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>>. Acesso em 15 de fevereiro de 2014.

PADE, C.; GUIMARAES, M. **The CO<sub>2</sub> uptake of concrete in a 100 years perspective.** Cement and Concrete Research, v. 37, n. 9, p. 1348-1356, 2007.

PAPADAKIS, V. G.; VAYENAS, C. G.; FARDIS, M. N. **Physical and chemical characteristics affecting the durability of concrete.** ACI Materials Journal, v. 88, n. 2, 1991.

PARK, D. C. **Carbonation of concrete in relation to CO<sub>2</sub> permeability and degradation of coatings.** Construction and Building Materials, Elsevier, 2008.



PARROT, L.J. **Some effects of cement and curing upon carbonation and reinforcement corrosion in concrete.** Materials and Structures, v.29, n.187, p. 164- 173, April 1996.

PINA, F. B. C. **Resistência à carbonatação de argamassas de reparação para estruturas em betão armado.** Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

POSSAN, E. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano.** Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

POSSAN, E., DEMOLINER, C. A. **Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral.** Revista Técnico Científica, 2013.

REAL, S. A. C. F. **Contributo da análise dos custos do ciclo de vida para projectar a sustentabilidade na construção.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal, 2010.

RILEM. **Recommendations of TC 116-PCD. Tests for gas permeability of concrete.** Materials and Structures. V. 32, 1999.

ROQUE, J. A.; MORENO JÚNIOR, A. L. **Considerações sobre vida útil do concreto.** 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em concreto Pré-moldado. São Carlos, 2005.

SATTLER, M. A.; PEREIRA, F. O. R. (Editores). **Construção e meio ambiente.** Coletânea Habitare, vol 7. Porto Alegre, 2006.

SEO, E. S. M.; KULAY, L. A. **Avaliação do ciclo de vida: ferramenta para tomada de decisão.** Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente – v.1, n.1, Art. 4, 2006.

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

SNIC. **Sindicato Nacional da Indústria do Cimento.** Disponível em: <[www.snic.org.br/numeros\\_dinamico.asp](http://www.snic.org.br/numeros_dinamico.asp)>. Acesso em: 03 de julho de 2014.

SOUZA, U. E. L.; DEANA, D. F. **Levantamento do estado da arte: consumo de materiais.** Projeto Tecnologias para construção habitacional mais sustentável. São Paulo, 2007.

TAKAHASHI, S. **Avaliação ambiental do setor de transporte de cargas: comparação de métodos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

TASCA, M. **Estudo da carbonatação natural de concretos com pozolanas: monitoramento em longo prazo e análise da microestrutura.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

TAYLOR, H. F. W. **Cement chemistry**. London: Academic Press, 1997.

TCPO. **Tabela de Composição de Preços para Orçamento**. 13 edição. São Paulo, Pini, 2008.

THE CONCRETE CENTRE. **The concrete industry. Sustainability Performance Report. 1st Report**. The Concrete Centre, 2009. Disponível em <[www.concretecentre.com](http://www.concretecentre.com)>. Acesso em 5 maio de 2014.

TUUTI. K. **Corrosion of steel in concrete**, Swedish Cement and Concrete Research, Stockholm, 1982.

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Climate change** (site). USEPA, 2009. Disponível <<http://www.epa.gov/climatechange>>. Acesso em 20 de maio de 2014.

VAGHETTI, M. A. O. **Efeitos da cinza volante com cinza de casca de arroz ou sílica ativa sobre a carbonatação do concreto de cimento portland**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Maria, 1999.

**APÊNDICE A**  
**PROCEDIMENTOS DE PROJETO**

## SEQUÊNCIA DE CÁLCULO DO PILAR DE CONCRETO ARMADO

A obtenção dos esforços solicitantes foram através do software Eberick V6 (figura 33), por meio de um projeto fictício de um edifício com oito pavimentos (figura 34). Fez-se a escolha de um pilar central da estrutura, no primeiro pavimento (pilotis).

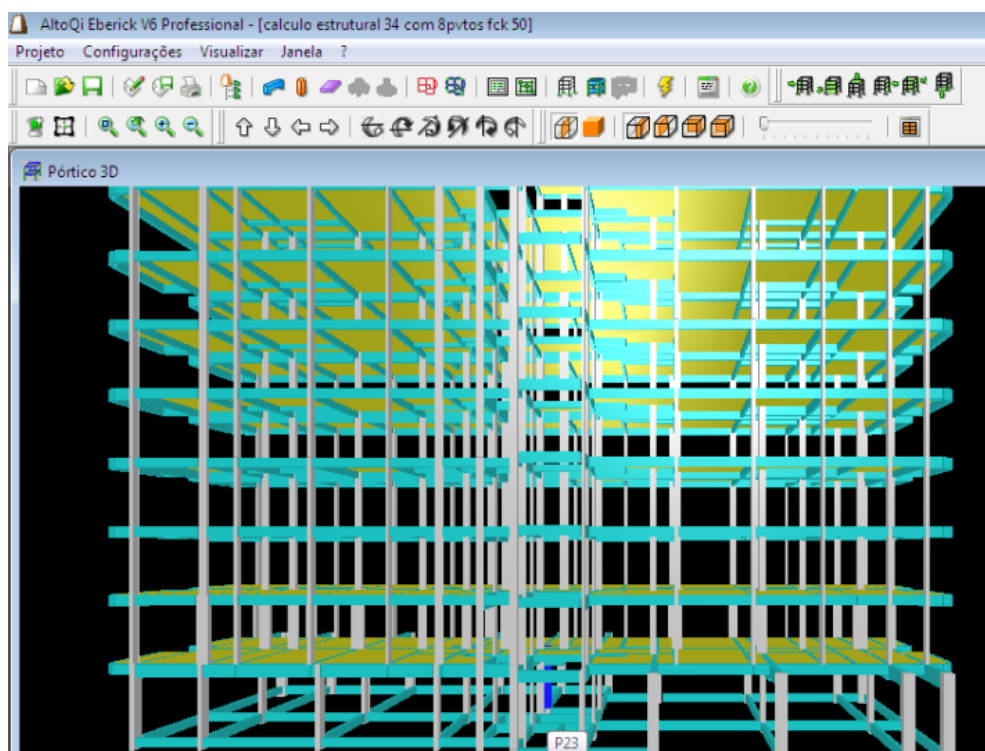


Figura 33 – Pórtico 3D da estrutura de concreto armado

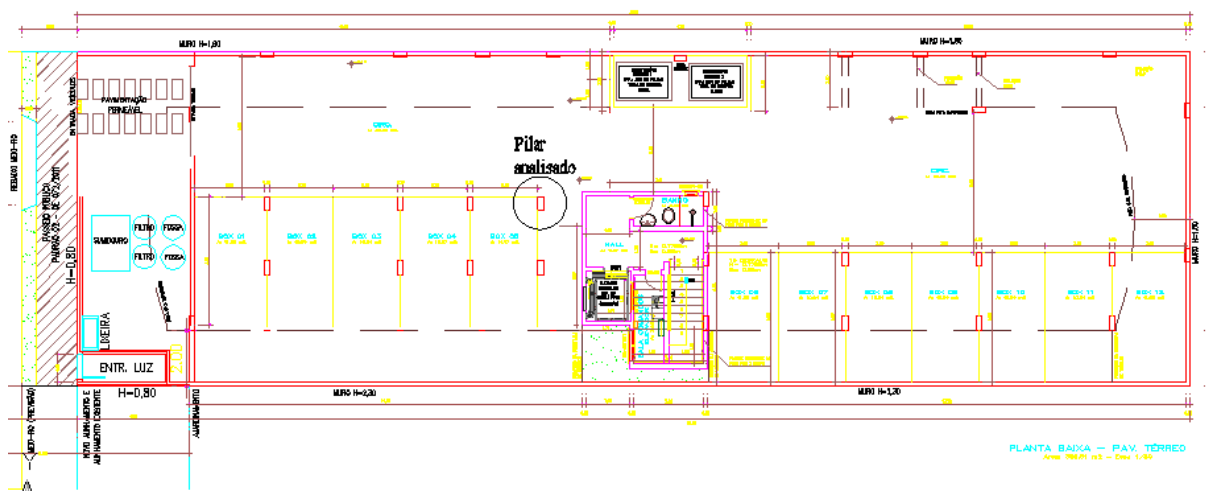
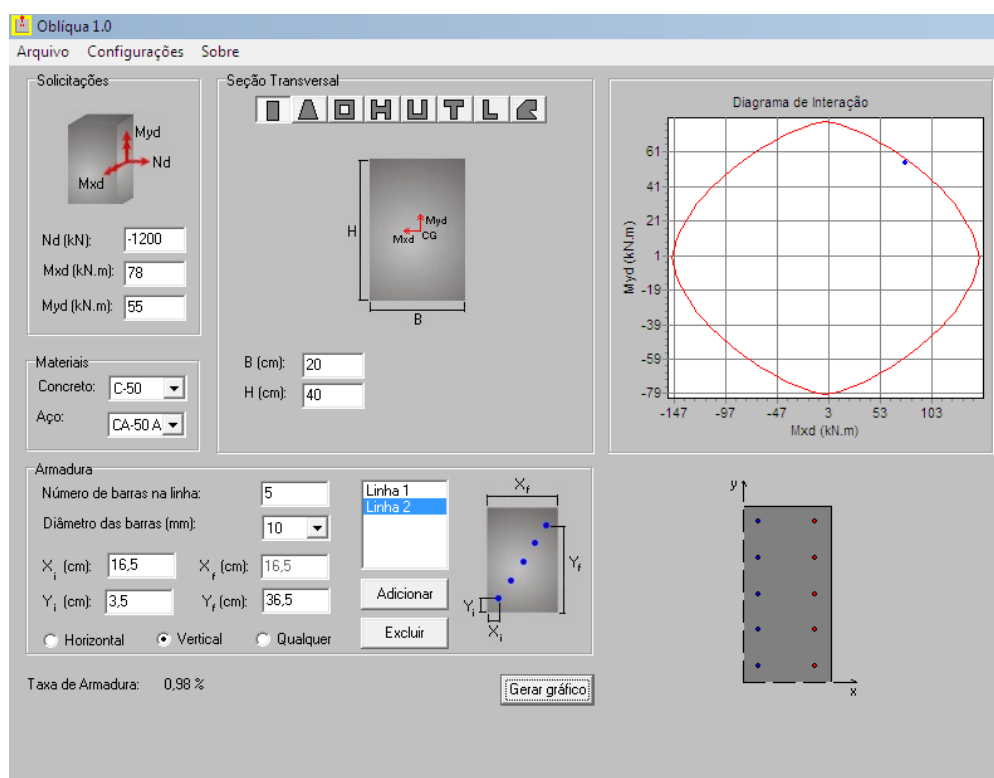


Figura 34 – Planta baixa do térreo do edifício fictício e posição do pilar analisado

Em seguida, fez-se o cálculo estrutural do pilar de concreto armado para as resistências características de 30 e 50 MPa, por meio do software Obliqua 1.0 (figura 35).



**Figura 35 – Dimensionamento do pilar para a resistência característica de 50 MPa**

O detalhamento do pilar foi realizado no software AutoCAD 2004 (figuras 36 e 37).

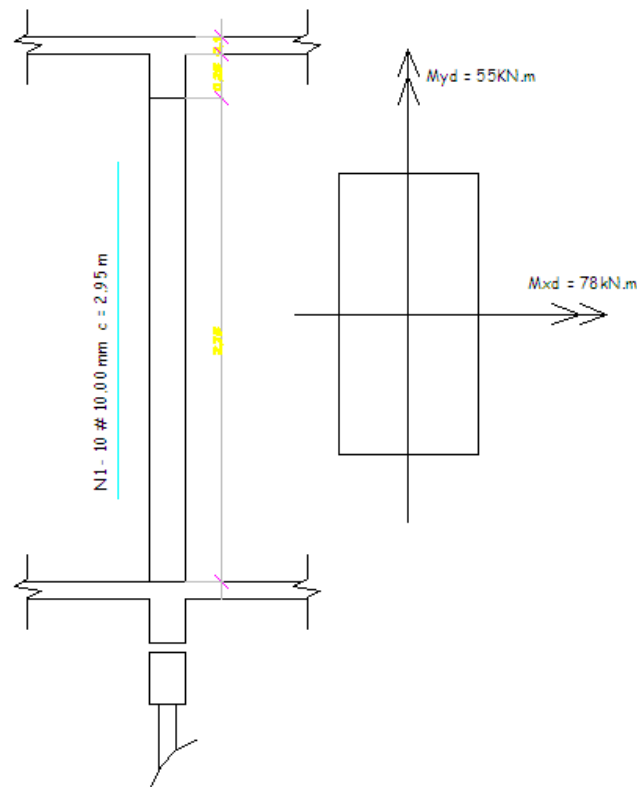


Figura 36 – Corte vertical e momentos fletores aplicados

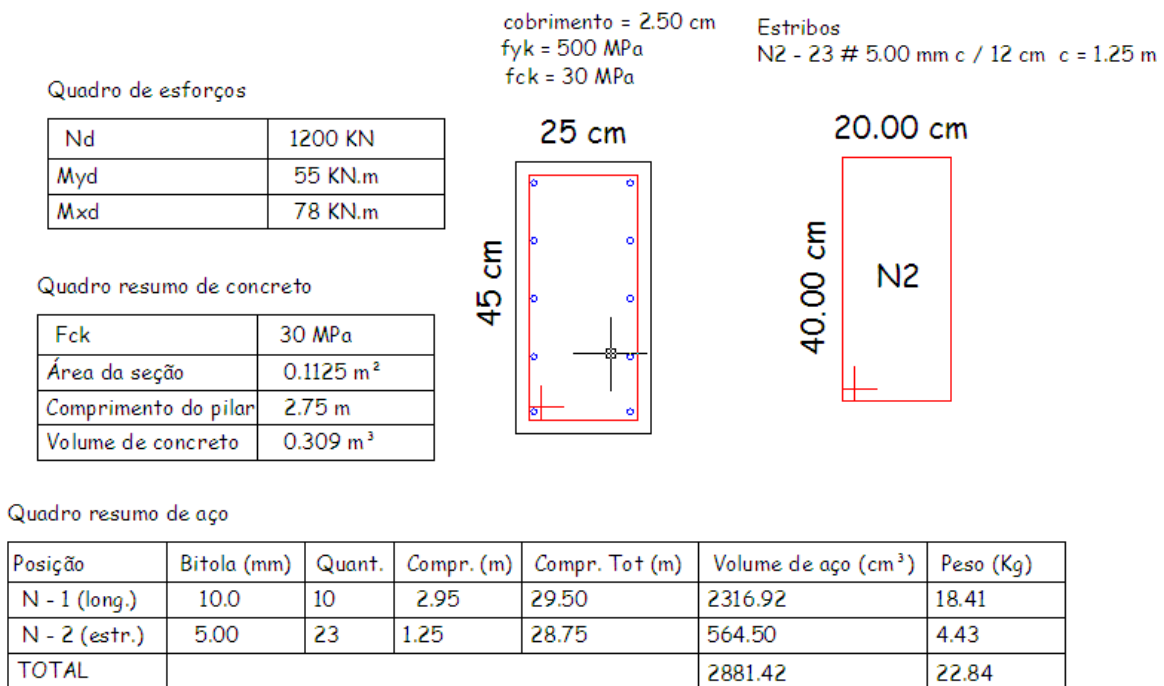


Figura 37 – Detalhamento geral do dimensionamento para  $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

**APÊNDICE B**  
**QUESTIONÁRIOS**

**Questionário 1 - Empreendimento****INFORMAÇÕES SOBRE O EMPREENDIMENTO**

1. Nome da empresa:
2. Autoriza divulgação do nome:
3. Região de atendimento:
4. Qual a área de ocupação do empreendimento:

**Comentários:**

- **Trabalhadores:**

1. Número de homem/hora por tonelada de matéria prima extraída:
2. Número de trabalhadores nas funções:

**Comentários:**



**Questionário 2 – transporte****TRANSPORTE**

1. Qual a quantidade de veículos:
2. Qual a capacidade de carga de cada veículo:
3. Quantas vezes por semana o veículo é lavado:
4. Como é feita a troca de lubrificantes (local, frequência, ...):
5. Qual tipo de combustível consumido:
6. Qual o consumo médio mensal de combustível, em litros:
7. Qual a distância média mensal percorrida da depósito até o consumidor:
8. Qual a quantidade média mensal de carga transportada, em toneladas:
9. Distância entre o depósito e a UFSM:

**Questionário 3 –manejo e reciclagem****MANEJO**

1. Quais os equipamentos utilizados:
2. Qual o tipo de energia consumida por cada um deles:
3. Quantidade de material transportado:
4. Distância percorrida:
5. Estimativa de perdas:

**Comentários****RECICLAGEM**

1. Quais etapas para reciclagem de um pilar móido em obra:
2. Rendimento/eficiência:

**Comentários**

**APÊNDICE C**  
**VALORES DE ENTRADAS E SAÍDAS**

## USO E MANUTENÇÃO

Para o cálculo dos valores a serem inseridos no programa SimaPro 8.0.2, seguiu-se conforme descrito no capítulo IV. A seguir são apresentados os valores inseridos, de maneira a esclarecer os passos adotados. Na fase de uso e manutenção do pilar de concreto armado, foram adicionados cinco itens: ‘água’ nos pilares que sofreram lavagens periódicas, ‘energia elétrica’ do lava-jato, ‘querosene’ presente na ficha para lavagem do pilar (TCPO, 2008), ‘tinta acrílica’ nos pilares que exigiram proteção superficial e ‘gás carbônico’ do processo de absorção do pilar.

Vida útil estimada (Anos)	Vida útil provável (Anos)	Traço	Água (m <sup>3</sup> )	Energia elétrica (KWh)	Querosene (L)	Tinta acrílica (L)	CO <sub>2</sub> Absorvido (kg)
56	56	II30	0,43	13,99	9,34	-	11,88
201	150	II50	0,99	32,18	21,45	-	12,16
18	53	IV30	0,00	0,00	0,00	10,40	10,26
290	150	IV50	0,99	32,18	21,45	-	9,22
35	103	V30	0,00	0,00	0,00	19,64	10,25
102	102	V50	0,67	21,86	14,59	-	13,90

**Quadro 1 – Valores inseridos na fase de uso/manutenção**

## DEMOLIÇÃO, TRANSPORTE E MANEJO DO RCD

Ao fim da vida útil dos pilares, a demolição foi realizada com martelo rompedor, movido a compressor a ar alimentado por diesel. A carregadeira, também a diesel, carregou o entulho no caminhão, que transportou até a empresa que realiza o manejo. A empresa GR2 conta com um gerador movido a diesel, que alimenta as máquinas (britador, esteira, eletroímã), e retroscavadeiras movidas a diesel. Ao fim, toda a etapa pós-uso consumiu apenas diesel, a depender apenas do volume do pilar. Pilares com  $f_{ck} = 30$  MPa tinham volume de 0,309 m<sup>3</sup>, e pilares com  $f_{ck} = 50$  MPa um volume de 0,220 m<sup>3</sup>. Portanto, o consumo de diesel inseridos no programa SimaPro 8.0.2 foram de 11,56 litros e 8,22 litros, respectivamente. Foi considerado perdas de 5% do entulho, mais especificamente, 5% do concreto. No programa SimaPro 8.0.2, em: Inventário – Fases do produto – Cenário de destino final, o usuário determina a porcentagem de material que é reciclada. Neste item o concreto foi 95% reciclado, e o aço 100%.

**APÊNDICE D**  
**TABELAS DE COMPOSIÇÃO DE PREÇOS**

<b>FÔRMA PARA PILARES COM MADEIRA COMPENSADA 12 mm</b>					<b>UNIDADE</b>	<b>m<sup>2</sup></b>
					<b>DATA</b>	<b>jun/14</b>
<b>COMPONENTES</b>	<b>COMPOSIÇÃO DO CUSTO UNITÁRIO</b>				<b>TOTAL</b>	<b>39,56</b>
<b>Discriminação</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Unidade</b>	<b>Preço unitário</b>		<b>Custo do Material</b>	<b>Custo da M.O</b>
			<b>Mat</b>	<b>M.O.</b>		
<i>Ajudante de carpinteiro</i>	0,204	<i>h</i>	-	6,98	0,00	1,42
<i>carpinteiro</i>	0,82	<i>h</i>	-	9,29	0,00	7,58
<i>Chapa compensada 12mm</i>	0,25	<i>m<sup>2</sup></i>	25,06	-	6,27	0,00
<i>Prego 17x21 com cabeça (comprimento 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)</i>	0,04	<i>kg</i>	7,20	-	0,29	0,00
<i>Pontalete 3"x3" (altura: 75mm / largura: 75mm)</i>	1,20	<i>m</i>	3,36	-	4,03	0,00
<i>Sarrafo 1"x3" (altura: 75mm/ espessura 25 mm)</i>	1,65	<i>m</i>	1,44	-	2,38	0,00
<i>Tábua 1"x8" (espessura 25mm/ largura: 200mm)</i>	0,104	<i>m<sup>2</sup></i>	12,03		1,25	0,00
<i>Tábua 1"x6" (espessura 25mm/ largura: 150mm)</i>	0,1	<i>m<sup>2</sup></i>	12,47		1,25	0,00
<i>Desmoldante de fôrmas para concreto</i>	0,02	<i>l</i>	8,81		0,18	0,00
<i>Prego 17x27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm/ diâmetro da cabeça: 3mm)</i>	0,1	<i>kg</i>	7,20		0,72	0,00
<i>Prego 15x15 com cabeça (comprimento 34,5 mm/diâmetro da cabeça: 2,4 mm)</i>	0,05	<i>kg</i>	7,50		0,38	0,00
<b>TOTAIS SEM ENCARGOS</b>					<b>16,73</b>	<b>9,00</b>
<i>Leis sociais</i>	144,22	<i>%</i>				12,99
<i>Ferramentas</i>	5	<i>%</i>			0,84	
<b>TOTAIS COM ENCARGOS</b>					<b>17,57</b>	<b>21,99</b>

Quadro 2 – Composição de fôrma para pilares com madeira compensada 12mm

(código 03110.8.2 - TCPO 13, página 127)

<i>ARMADURA PARA PILAR Φ10 - sem estribo</i>					<i>UNIDADE</i>	<i>m<sup>2</sup></i>
					<i>DATA</i>	<i>jun/14</i>
<i>COMPONENTES</i>	<i>COMPOSIÇÃO DO CUSTO UNITÁRIO</i>				<i>TOTAL</i>	<i>9,23</i>
<i>Discriminação</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Unidade</i>	<i>Preço unitário</i>		<i>Custo do Material</i>	<i>Custo da M.O</i>
			<i>Mat</i>	<i>M.O.</i>		
Ajudante de armador	0,093	h	-	6,98	0,00	0,65
Armador	0,093	h	-	9,29	0,00	0,86
Espaçador circular de plástico para pilares (cobrimento 30mm)	7,3	Unidade	0,09	-	0,66	0,00
Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm/ bitola 18 BWG)	0,02	kg	7,02	-	0,14	0,00
Barra CA-50 bitola 10 mm	1,10	kg	4,07	-	4,48	0,00
<b><i>TOTAIS SEM ENCARGOS</i></b>					<b><i>5,27</i></b>	<b><i>1,51</i></b>
<i>Leis sociais</i>	<i>144,22</i>	<i>%</i>				<i>2,18</i>
<i>Ferramentas</i>	<i>5</i>	<i>%</i>			<i>0,26</i>	
<b><i>TOTAIS COM ENCARGOS</i></b>					<b><i>5,54</i></b>	<b><i>3,70</i></b>

Quadro 3 – Composição de armadura para pilar Φ10 – sem estribo  
(código 03210.8.1.11 - TCPO 13, página 150)

<i>PILAR CP II-Z F<sub>ck</sub> 30 MPa</i>					<i>UNIDADE</i>	<i>1 pilar</i>
					<i>DATA</i>	<i>jun/14</i>
<i>COMPONENTES</i>	<i>COMPOSIÇÃO DO CUSTO UNITÁRIO</i>				<i>TOTAL</i>	<i>482,17</i>
<i>Discriminação</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Unidade</i>	<i>Preço unitário</i>		<i>Custo do Material</i>	<i>Custo da M.O</i>
			<i>Mat</i>	<i>M.O.</i>		
Cimento CP II-Z 32	109,34	kg	0,48	-	52,48	0,00
Areia média	224,15	kg	0,03	-	5,64	0,00
Brita 1	331,31	kg	0,01	-	4,57	0,00
Água para concreto	54,67	kg	0,00	-	0,23	0,00
Estribos 5 mm	4,43	kg	4,02	-	17,81	0,00
Armadura para pilar Φ10	16,97	kg	5,27	1,51	89,49	25,67
Fôrma para pilares com madeira compensada resina e=12 mm	3,575	m <sup>2</sup>	16,73	9,00	59,81	32,19
Betoneira	0,306	h prod	2,64	-	0,81	0,00
Servente	6	h	-	6,72	0,00	40,32
<b><i>TOTAIS SEM ENCARGOS</i></b>					<b>230,84</b>	<b>98,18</b>
<i>Leis sociais</i>	144,22	%				141,60
<i>Ferramentas</i>	5	%			11,54	
<b><i>TOTAIS COM ENCARGOS</i></b>					<b>242,38</b>	<b>239,79</b>

**Quadro 4 – Composição de materiais e custos do pilar com CP II-Z fck=30**  
(código 03310.8.1 - TCPO 13, página 152)



<b>PILAR CP II-Z F<sub>CK</sub> 50 MPa</b>					<b>UNIDADE</b>	<b>1 pilar</b>
					<b>DATA</b>	<b>jun/14</b>
<b>COMPONENTES</b>	<b>COMPOSIÇÃO DO CUSTO UNITÁRIO</b>				<b>TOTAL</b>	<b>454,26</b>
<b>Discriminação</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Unidade</b>	<b>Preço unitário</b>		<b>Custo do Material</b>	<b>Custo da M.O</b>
			<b>Mat</b>	<b>M.O.</b>		
Cimento CP II-Z 32	104,15	kg	0,48	-	49,99	0,00
Areia média	134,35	kg	0,03	-	3,38	0,00
Brita 1	236,41	kg	0,01	-	3,26	0,00
Água para concreto	39,05	kg	0,00	-	0,16	0,00
Superplastificante MC-Powerflow 1180	0,3124	kg	10,00	-	3,12	0,00
Estribos 5 mm	3,72	kg	4,02	-	14,95	0,00
Armadura para pilar Φ10	16,97	kg	5,27	1,51	89,49	25,67
Fôrma para pilares com madeira compensada resina e=12 mm	3,025	m <sup>2</sup>	16,73	9,00	50,61	27,24
Betoneira	0,306	h prod	2,64	-	0,81	0,00
Servente	6	h	-	6,72	0,00	40,32
<b>TOTAIS SEM ENCARGOS</b>					<b>215,78</b>	<b>93,23</b>
<i>Leis sociais</i>	<i>144,22</i>	<i>%</i>				<i>141,60</i>
<i>Ferramentas</i>	<i>5</i>	<i>%</i>			<i>11,54</i>	
<b>TOTAIS COM ENCARGOS</b>					<b>226,57</b>	<b>227,69</b>

Quadro 5 – Composição de materiais e custos do pilar com CP II-Z fck=50  
(código 03310.8.1 da TCPO 13 – página 152)

<b>PILAR CP IV F<sub>CK</sub> 30 MPa</b>					<b>UNIDADE</b>	<b>1 pilar</b>
					<b>DATA</b>	<b>jun/14</b>
<b>COMPONENTES</b>	<b>COMPOSIÇÃO DO CUSTO UNITÁRIO</b>				<b>TOTAL</b>	<b>486,61</b>
<b>Discriminação</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Unidade</b>	<b>Preço unitário</b>		<b>Custo do Material</b>	<b>Custo da M.O</b>
			<b>Mat</b>	<b>M.O.</b>		
Cimento CP IV 32	122,27	kg	0,46	-	56,56	0,00
Areia média	207,87	kg	0,03	-	5,23	0,00
Brita 1	327,69	kg	0,01	-	4,52	0,00
Água para concreto	54,04	kg	0,00	-	0,23	0,00
Plastificante Muraplast FK 100	0,24	kg	2,50	-	0,61	0,00
Estribos 5 mm	4,43	kg	4,02	-	17,81	0,00
Armadura para pilar Φ10	16,97	kg	5,27	1,51	89,49	25,67
Fôrma para pilares com madeira compensada resina e=12 mm	3,575	m <sup>2</sup>	16,73	9,00	59,81	32,19
Betoneira	0,306	h prod	2,64	-	0,81	0,00
Servente	6	h	-	6,72	0,00	40,32
<b>TOTAIS SEM ENCARGOS</b>					<b>235,07</b>	<b>98,18</b>
<i>Leis sociais</i>	144,22	%				141,60
<i>Ferramentas</i>	5	%			11,75	
<b>TOTAIS COM ENCARGOS</b>					<b>246,82</b>	<b>239,79</b>

**Quadro 6 – Composição de materiais e custos do pilar com CP IV fck=30**  
(código 03310.8.1 da TCPO 13 – página 152)

<b>PILAR CP IV <math>F_{CK}</math> 50 MPa</b>					<b>UNIDADE</b>	<b>1 pilar</b>
					<b>DATA</b>	<b>jun/14</b>
<b>COMPONENTES</b>	<b>COMPOSIÇÃO DO CUSTO UNITÁRIO</b>				<b>TOTAL</b>	<b>460,09</b>
<b>Discriminação</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Unidade</b>	<b>Preço unitário</b>		<b>Custo do Material</b>	<b>Custo da M.O</b>
			<b>Mat</b>	<b>M.O.</b>		
Cimento CP IV 32	117,65	kg	0,46		54,43	0,00
Areia média	117,65	kg	0,03		2,96	0,00
Brita 1	232,95	kg	0,01		3,21	0,00
Água para concreto	38,47	kg	0,00		0,16	0,00
Superplastificante MC-Powerflow 1180	0,4706	kg	10,00		4,71	0,00
Estribos 5 mm	3,72	kg	4,02		14,95	0,00
Armadura para pilar $\Phi$ 10	16,97	kg	5,27	1,51	89,49	25,67
Fôrma para pilares com madeira compensada resina e=12 mm	3,025	m <sup>2</sup>	16,73	9,00	50,61	27,24
Betoneira	0,306	h prod	2,64		0,81	0,00
Servente	6	h		6,72	0,00	40,32
<b>TOTAIS SEM ENCARGOS</b>					<b>221,33</b>	<b>93,23</b>
<i>Leis sociais</i>	<i>144,22</i>	<i>%</i>				<i>134,46</i>
<i>Ferramentas</i>	<i>5</i>	<i>%</i>			<i>11,07</i>	
<b>TOTAIS COM ENCARGOS</b>					<b>232,40</b>	<b>227,69</b>

**Quadro 7 – Composição de materiais e custos do pilar com CP IV fck=50**  
(código 03310.8.1 da TCPO 13 – página 152)

<b>PILAR CP V-ARI <math>F_{ck}</math> 30 MPa</b>					<b>UNIDADE</b>	<b>1 pilar</b>
					<b>DATA</b>	<b>jun/14</b>
<b>COMPONENTES</b>	<b>COMPOSIÇÃO DO CUSTO UNITÁRIO</b>				<b>TOTAL</b>	<b>506,36</b>
<b>Discriminação</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Unidade</b>	<b>Preço unitário</b>		<b>Custo do Material</b>	<b>Custo da M.O</b>
			<b>Mat</b>	<b>M.O.</b>		
Cimento CPV-ARI	85,59	kg	0,88		74,89	0,00
Areia média	249,05	kg	0,03		6,27	0,00
Brita 1	332,07	kg	0,01		4,58	0,00
Água para concreto	54,77	kg	0,00		0,23	0,00
Estribos 5 mm	4,43	kg	4,02		17,81	0,00
Armadura para pilar $\Phi$ 10	16,97	kg	5,27	1,51	89,49	25,67
Fôrma para pilares com madeira compensada resina e=12 mm	3,575	m <sup>2</sup>	16,73	9,00	59,81	32,19
Betoneira	0,306	h prod	2,64		0,81	0,00
Servente	6	h		6,72	0,00	40,32
<b>TOTAIS SEM ENCARGOS</b>					<b>253,88</b>	<b>98,18</b>
<i>Leis sociais</i>	144,22	%				141,60
<i>Ferramentas</i>	5	%			12,69	
<b>TOTAIS COM ENCARGOS</b>					<b>266,57</b>	<b>239,79</b>

**Quadro 8 – Composição de materiais e custos do pilar com CP V-ARI  $f_{ck}$ =30**

(código 03310.8.1 da TCPO 13 – página 152)

<i>PILAR CP V-ARI F<sub>ck</sub> 50 MPa</i>					<i>UNIDADE</i>	<i>1 pilar</i>
					<i>DATA</i>	<i>jun/14</i>
<i>COMPONENTES</i>	<i>COMPOSIÇÃO DO CUSTO UNITÁRIO</i>				<i>TOTAL</i>	<i>474,89</i>
<i>Discriminação</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Unidade</i>	<i>Preço unitário</i>		<i>Custo do Material</i>	<i>Custo da M.O</i>
			<i>Mat</i>	<i>M.O.</i>		
Cimento CP V-ARI	82,49	kg	0,88		72,18	0,00
Areia média	156,73	kg	0,03		3,94	0,00
Brita 1	237,56	kg	0,01		3,27	0,00
Água para concreto	39,18	kg	0,00		0,16	0,00
Estribos 5 mm	3,72	kg	4,02		14,95	0,00
Armadura para pilar Φ10	16,97	kg	5,27	1,51	89,49	25,67
Fôrma para pilares com madeira compensada resina e=12 mm	3,025	m <sup>2</sup>	16,73	9,00	50,61	27,24
Betoneira	0,306	h prod	2,64		0,81	0,00
Servente	6	h		6,72	0,00	40,32
<b><i>TOTAIS SEM ENCARGOS</i></b>					<b><i>235,42</i></b>	<b><i>93,23</i></b>
<i>Leis sociais</i>	<i>144,22</i>	<i>%</i>				<i>134,46</i>
<i>Ferramentas</i>	<i>5</i>	<i>%</i>			<i>11,77</i>	
<b><i>TOTAIS COM ENCARGOS</i></b>					<b><i>247,19</i></b>	<b><i>227,69</i></b>

**Quadro 9 – Composição de materiais e custos do pilar com CP V-ARI fck=50**

(código 03310.8.1 da TCPO 13 – página 152)

<b>LIMPEZA DO SUBSTRATO DO PILAR COM JATO DE ÁGUA</b>					<b>UNIDADE</b>	<b>m<sup>2</sup></b>
					<b>DATA</b>	<b>jun/14</b>
<b>COMPONENTES</b>	<b>COMPOSIÇÃO DO CUSTO UNITÁRIO</b>				<b>TOTAL</b>	<b>6,56</b>
<b>Discriminação</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Unidade</b>	<b>Preço unitário</b>		<b>Custo do Material</b>	<b>Custo da M.O</b>
			<b>Mat</b>	<b>M.O.</b>		
<i>servente</i>	0,13	<i>h</i>	-	7,62	0,00	0,9906
<i>água</i>	6	<i>l</i>	0,0042	-	0,0252	0,00
<i>Solução limpadora diluída em água</i>	0,1	<i>l</i>	36,12	-	3,612	0,00
<i>Máquina lava-jato água quente/fria, pressão 1700 psi - locação</i>	2,50E-04	<i>loc/un/h</i>	1214,45	-	0,30	0,00
<i>Querosene</i>	0,13	<i>l</i>	10,19	-		0,00
<b>TOTAIS SEM ENCARGOS</b>					<b>3,94</b>	<b>0,99</b>
<i>Leis sociais</i>	144,22	%				1,43
<i>Ferramentas</i>	5	%			0,20	
<b>TOTAIS COM ENCARGOS</b>					<b>4,14</b>	<b>2,42</b>

**Quadro 10 – Composição da limpeza dos pilares**  
(código 03910.8.8.1 - TCPO 13, página 169)

<i>PINTURA COM TINTA ACRILICA EM PISO DE CONCRETO, 2 DEMÃOS, APLICADO COM ROLO DE LÃ</i>					<i>UNIDADE</i>	<i>m<sup>2</sup></i>
					<i>DATA</i>	<i>jun/14</i>
<i>COMPONENTES</i>		<i>COMPOSIÇÃO DO CUSTO UNITÁRIO</i>			<i>TOTAL</i>	<i>35,23</i>
<i>Discriminação</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Unidade</i>	<i>Preço unitário</i>		<i>Custo do Material</i>	<i>Custo da M.O</i>
			<i>Mat</i>	<i>M.O.</i>		
<i>Ajudante de pintor</i>	<i>0,3</i>	<i>h</i>		<i>6,99</i>	<i>0,00</i>	<i>2,097</i>
<i>Pintor</i>	<i>1,2</i>	<i>h</i>		<i>9,29</i>	<i>0,00</i>	<i>11,148</i>
<i>Tinta acrílica</i>	<i>0,30</i>	<i>l</i>	<i>9,14</i>		<i>2,74</i>	<i>0,00</i>
<b><i>TOTAIS SEM ENCARGOS</i></b>					<b><i>2,74</i></b>	<b><i>13,25</i></b>
<i>Leis sociais</i>	<i>144,22</i>	<i>%</i>				<i>19,10</i>
<i>Ferramentas</i>	<i>5</i>	<i>%</i>			<i>0,14</i>	
<b><i>TOTAIS COM ENCARGOS</i></b>					<b><i>2,88</i></b>	<b><i>32,35</i></b>

**Quadro 11 – Composição da pintura dos pilares**

(código 09115.8.5.1 - TCPO 13, página 291)

<b>DEMOLIÇÃO DE CONCRETO ARMADO COM UTILIZAÇÃO DE MARTELO ROMPEDOR</b>					<b>UNIDADE</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
					<b>DATA</b>	<b>jun/14</b>
<b>COMPONENTES</b>	<b>COMPOSIÇÃO DO CUSTO UNITÁRIO</b>				<b>TOTAL</b>	<b>150,41</b>
<b>Discriminação</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Unidade</b>	<b>Preço unitário</b>		<b>Custo do Material</b>	<b>Custo da M.O</b>
			<b>Mat</b>	<b>M.O.</b>		
<i>pedreiro</i>	1,5	<i>h</i>	-	9,29	0,00	13,935
<i>ponteiro para rompedor (comprimento: 160mm/ diâmetro da seção: 32mm)</i>	0,075	<i>un.</i>	65,12	-	4,884	0,00
<i>Compressor de ar portátil rebocável, diesel, potência 63 HP (47 KW), capacidade 3,3m<sup>3</sup>/min (116 pcm) - vida útil 20 mil h</i>	5,00	<i>h prod</i>	8,83	-	44,15	0,00
<i>Martelo rompedor, pneumático, capacidade para furos com até 32mm de diâmetro - vida útil de 8000 h</i>	15,00	<i>h prod</i>	4,12	-	61,8	0,00
<b>TOTAIS SEM ENCARGOS</b>					<b>110,83</b>	<b>13,94</b>
<i>Leis sociais</i>	144,22	%				20,10
<i>Ferramentas</i>	5	%			5,54	
<b>TOTAIS COM ENCARGOS</b>					<b>116,38</b>	<b>34,03</b>

Quadro 12 – Composição da demolição com martelo rompedor  
(código 02220.8.4.1 - TCPO 13, página 59)



<b>CARGA MECANIZADA DE ENTULHO EM CAMINHÃO BASCULANTE</b>					<b>UNIDADE</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
					<b>DATA</b>	<b>jun/14</b>
<b>COMPONENTES</b>	<b>COMPOSIÇÃO DO CUSTO UNITÁRIO</b>				<b>TOTAL</b>	<b>3,19</b>
<b>Discriminação</b>	<b>Coeficiente</b>	<b>Unidade</b>	<b>Preço unitário</b>		<b>Custo do Material</b>	<b>Custo da M.O</b>
			<b>Mat</b>	<b>M.O.</b>		
<i>servente</i>	0,0208	<i>h</i>	-	6,72	0,00	0,139776
<i>Carregadeira sobre rodas 129 HP, com caçamba para aplicação geral com bordas cortantes aparafusáveis, capacidade coroada de 2,10 m<sup>3</sup>, fator de carga média - vida útil: 8000 h</i>	0,0104	<i>h prod</i>	164,25	-	1,7082	0,00
<i>Caminhão basculante, diesel, potência 228 HP (170 KW), capacidade de carga útil 15,46 t, caçamba 6 m<sup>3</sup> - vida útil: 8000 h</i>	0,01	<i>h imp</i>	96,19	-	1,00	0,00
<b>TOTAIS SEM ENCARGOS</b>					<b>2,71</b>	<b>0,14</b>
<i>Leis sociais</i>	144,22	%				0,20
<i>Ferramentas</i>	5	%			0,14	
<b>TOTAIS COM ENCARGOS</b>					<b>2,84</b>	<b>0,34</b>

**Quadro 13 – Composição do carregamento do entulho no caminhão basculante**

(código 14510.8.1.1 - TCPO 13, página 368)

<i>CAMINHÃO BASCULANTE, DIESEL, POTÊNCIA 228 HP (170 KW), CAPAC. DE CARGA ÚTIL: 15,46 t, CAÇAMBA: 6 M³ - VIDA ÚTIL: 8000 h</i>					<i>UNIDADE</i>	<i>h</i>
					<i>DATA</i>	<i>jun/14</i>
<i>COMPONENTES</i>		<i>COMPOSIÇÃO DO CUSTO UNITÁRIO</i>			<i>TOTAL</i>	<i>208,46</i>
<i>Discriminação</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Unidade</i>	<i>Preço unitário</i>		<i>Custo do Material</i>	<i>Custo da M.O</i>
			<i>Mat</i>	<i>M.O.</i>		
<i>motorista de veículo comercial/ caminhão</i>	<i>1</i>	<i>h</i>	<i>-</i>	<i>11,88</i>	<i>0,00</i>	<i>11,88</i>
<i>pneu 10 x 20 x 16 com câmara</i>	<i>0,004</i>	<i>Unidade</i>	<i>8590,00</i>	<i>-</i>	<i>34,36</i>	<i>0,00</i>
<i>graxa</i>	<i>0,009</i>	<i>kg</i>	<i>13,10</i>	<i>-</i>	<i>0,12</i>	<i>0,00</i>
<i>óleo diesel</i>	<i>36,50</i>	<i>l</i>	<i>2,55</i>	<i>-</i>	<i>92,89</i>	<i>0,00</i>
<i>depreciação de equipamentos de transportes</i>	<i>3,96E-05</i>		<i>226238,11</i>	<i>-</i>	<i>8,96</i>	<i>0,00</i>
<i>juros do capital de equipamentos de transportes</i>	<i>3,98E-05</i>		<i>226238,11</i>	<i>-</i>	<i>9,00</i>	<i>0,00</i>
<i>manutenção de equipamentos de transporte</i>	<i>1,13E-04</i>		<i>226238,11</i>	<i>-</i>	<i>25,56</i>	<i>0,00</i>
<b><i>TOTAIS SEM ENCARGOS</i></b>					<b><i>170,90</i></b>	<b><i>11,88</i></b>
<i>Leis sociais</i>	<i>144,22</i>	<i>%</i>				<i>17,13</i>
<i>Ferramentas</i>	<i>5</i>	<i>%</i>			<i>8,54</i>	
<b><i>TOTAIS COM ENCARGOS</i></b>					<b><i>179,44</i></b>	<b><i>29,01</i></b>

Quadro 14 – Composição do transporte no caminhão basculante  
(código 22800.9.1. - TCPO 13, página 558)

**APÊNDICE E**  
**INVENTÁRIO DAS EMISSÕES**

(continua)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
1	Minério de ferro, no solo	Matéria prima	kg	2,37E+00	2,13E+00	2,19E+00	2,25E+00	2,05E+00	2,11E+00
2	Energia, valor calorífico bruto, na biomassa	Matéria prima	MJ	9,54E+02	9,58E+02	9,62E+02	8,09E+02	8,09E+02	8,08E+02
3	Energia, valor calorífico bruto, em biomassa, floresta primária	Matéria prima	MJ	9,37E-04	1,21E-03	1,46E-03	8,37E-04	8,38E-04	8,34E-04
4	Turfa, solo	Matéria prima	kg	2,33E-04	9,43E-04	1,57E-03	2,34E-04	2,49E-04	2,05E-04
5	Madeira, dura e em pé	Matéria prima	m3	7,37E-02	7,37E-02	7,38E-02	6,24E-02	6,24E-02	6,24E-02
6	Floresta primária, madeira, permanente	Matéria prima	m3	8,69E-08	1,12E-07	1,36E-07	7,76E-08	7,77E-08	7,73E-08
7	Madeira, macia, em pé	Matéria prima	m3	4,79E-04	7,63E-04	1,02E-03	4,30E-04	4,32E-04	4,25E-04
8	Madeira, não especificada, em pé/m3	Matéria prima	m3	3,97E-09	1,06E-08	1,67E-08	4,16E-09	4,30E-09	3,79E-09
9	Dióxido de carbono, no ar	Matéria prima	kg	9,90E+01	9,78E+01	9,81E+01	8,75E+01	8,58E+01	8,77E+01
10	Energia cinética (de vento), convertida	Matéria prima	MJ	2,44E+00	3,69E+00	4,81E+00	2,19E+00	2,20E+00	2,18E+00
11	Energia, solar, convertida	Matéria prima	MJ	3,77E-02	5,56E-02	7,21E-02	3,41E-02	3,42E-02	3,37E-02
12	Ligas	Matéria prima	kg	8,56E-01	8,56E-01	8,56E-01	8,28E-01	8,28E-01	8,28E-01
13	Alumínio, 24% em bauxita, 11% no minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	2,78E-02	4,15E-02	5,45E-02	2,57E-02	2,59E-02	2,52E-02
14	Anidrita, no solo	Matéria prima	kg	4,59E-07	9,42E-06	1,74E-05	9,04E-07	1,15E-06	4,32E-07
15	Barita, 15% no minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	3,75E-02	5,39E-02	6,86E-02	3,31E-02	3,32E-02	3,29E-02
16	Basalto, no solo	Matéria prima	kg	8,76E-03	1,22E-02	1,54E-02	7,83E-03	7,86E-03	7,76E-03
17	Bórax, no solo	Matéria prima	kg	4,39E-07	6,01E-07	7,52E-07	3,97E-07	3,98E-07	3,92E-07
18	Cádmio, 0,30% em sulfeto, Cd 0,18%, Pb, Zn, Ag, em, no solo	Matéria prima	kg	6,52E-06	8,09E-06	9,50E-06	5,73E-06	5,74E-06	5,71E-06
19	Calcita, no solo	Matéria prima	kg	3,40E+01	3,49E+01	3,59E+01	3,28E+01	3,28E+01	3,27E+01
20	Carbono, em matéria orgânica, no solo	Matéria prima	kg	1,35E-05	1,75E-05	2,11E-05	1,21E-05	1,21E-05	1,20E-05
21	Cromo, 25,5% em cromita, 11,6% no minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	1,32E-02	2,29E-02	3,15E-02	1,17E-02	1,18E-02	1,15E-02
22	Crisotila, no solo	Matéria prima	kg	2,78E-06	3,41E-05	6,18E-05	3,54E-06	4,00E-06	2,66E-06
23	Cinábrio, no solo	Matéria prima	kg	2,58E-07	3,14E-06	5,70E-06	3,28E-07	3,70E-07	2,47E-07
24	Argila, bentonita, no solo	Matéria prima	kg	6,93E-01	6,96E-01	6,99E-01	6,69E-01	6,69E-01	6,69E-01
25	Argila, não especificado, no solo	Matéria prima	kg	9,98E-01	1,47E+00	1,91E+00	9,09E-01	9,13E-01	8,92E-01
26	Carvão, 26.4 MJ / kg, no solo	Matéria prima	kg	6,67E+00	6,23E+00	6,23E+00	7,03E+00	7,03E+00	6,71E+00

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
27	Carvão, 29,3 MJ / kg, no solo	Matéria prima	kg	3,71E+01	3,71E+01	3,71E+01	3,59E+01	3,59E+01	3,59E+01
28	Carvão betuminoso, 24,8 MJ / kg, no solo	Matéria prima	kg	5,57E+00	6,32E+00	5,24E+00	5,31E+00	6,08E+00	5,05E+00
29	Carvão, marrom, no solo	Matéria prima	kg	5,94E+00	8,99E+00	1,17E+01	5,34E+00	5,36E+00	5,30E+00
30	Carvão, duro, não especificado, no solo	Matéria prima	kg	5,13E+01	5,37E+01	5,52E+01	4,92E+01	4,96E+01	4,91E+01
31	Cobalto, no solo	Matéria prima	kg	7,54E-08	8,53E-08	9,46E-08	6,44E-08	6,42E-08	6,43E-08
32	Colemanita, no solo	Matéria prima	kg	1,10E-04	1,85E-04	2,56E-04	9,92E-05	9,99E-05	9,65E-05
33	Cobre, 0,99% em sulfeto, Cu 0,36% e Mo 8.2E-3% em minério cru, no solo	Matéria prima	kg	1,17E-03	2,08E-03	2,89E-03	1,04E-03	1,05E-03	1,03E-03
34	Cobre, 1,18% em sulfeto, Cu 0,39% e Mo 8.2E-3% em minério cru, no solo	Matéria prima	kg	6,46E-03	1,14E-02	1,59E-02	5,75E-03	5,80E-03	5,65E-03
35	Cobre, 1,42% em sulfeto, Cu 0,81% e Mo 8.2E-3% em minério cru, no solo	Matéria prima	kg	1,71E-03	3,03E-03	4,22E-03	1,53E-03	1,54E-03	1,50E-03
36	Cobre, 2,19% em sulfeto, Cu 1,83% e Mo 8.2E-3% em minério cru, no solo	Matéria prima	kg	8,56E-03	1,52E-02	2,11E-02	7,62E-03	7,68E-03	7,49E-03
37	Diatomita, no solo	Matéria prima	kg	2,18E-09	2,76E-09	3,30E-09	1,92E-09	1,92E-09	1,90E-09
38	Dolomita, no solo	Matéria prima	kg	5,14E-03	5,96E-03	6,71E-03	4,80E-03	4,80E-03	4,78E-03
39	Feldspato, no solo	Matéria prima	kg	3,24E-08	1,59E-08	6,15E-08	5,87E-08	5,87E-08	4,27E-08
40	Flúor, 4,5% em apatita, 1% no minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	2,55E-04	2,95E-04	3,30E-04	2,42E-04	2,42E-04	2,41E-04
41	Flúor, 4,5% em apatita, 3% no minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	1,34E-04	1,51E-04	1,67E-04	1,25E-04	1,25E-04	1,24E-04
42	Espatoflúor, 92%, no solo	Matéria prima	kg	1,79E-03	3,07E-03	4,21E-03	1,58E-03	1,59E-03	1,55E-03
43	Gálio, 0,014% em bauxita, no solo	Matéria prima	kg	1,07E-10	1,57E-10	2,04E-10	9,63E-11	9,66E-11	9,53E-11
44	De gás, minas, gás, processo, mineração/m3 de carvão	Matéria prima	m3	4,72E-01	4,92E-01	5,10E-01	4,54E-01	4,54E-01	4,53E-01
45	Gás natural, no solo	Matéria prima	m3	8,80E+00	1,24E+01	1,59E+01	8,30E+00	8,33E+00	7,90E+00
46	Ouro, Au 1.1E-4%, Ag 4.2E-3%, no minério, no solo	Matéria prima	kg	4,83E-08	1,02E-07	1,49E-07	4,19E-08	4,24E-08	4,09E-08
47	Ouro, Au 1.3E-4%, Ag 4.6E-5%, no minério, no solo	Matéria prima	kg	8,86E-08	1,86E-07	2,73E-07	7,68E-08	7,78E-08	7,50E-08
48	Ouro, Au 1.4E-4%, no minério, no solo	Matéria prima	kg	1,06E-07	2,23E-07	3,27E-07	9,20E-08	9,31E-08	8,98E-08

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
49	Ouro, Au 2.1E-4%, Ag 2.1E-4%, no minério, no solo	Matéria prima	kg	1,62E-07	3,40E-07	4,99E-07	1,41E-07	1,42E-07	1,37E-07
50	Ouro, Au 4.3E-4%, no minério, no solo	Matéria prima	kg	4,01E-08	8,44E-08	1,24E-07	3,48E-08	3,53E-08	3,40E-08
51	Ouro, Au 4.9E-5%, no minério, no solo	Matéria prima	kg	9,61E-08	2,02E-07	2,96E-07	8,34E-08	8,44E-08	8,14E-08
52	Ouro, Au 6.7E-4%, no minério, no solo	Matéria prima	kg	1,49E-07	3,13E-07	4,59E-07	1,29E-07	1,31E-07	1,26E-07
53	Ouro, Au 7.1E-4%, no minério, no solo	Matéria prima	kg	1,68E-07	3,53E-07	5,17E-07	1,46E-07	1,47E-07	1,42E-07
54	Ouro, Au 9.7E-4%, Ag 9.7E-4%, Zn 0,63%, 0,38% Cu, Pb 0,014%, no minério, no solo	Matéria prima	kg	1,01E-08	2,11E-08	3,10E-08	8,73E-09	8,83E-09	8,51E-09
55	Granito, no solo	Matéria prima	kg	9,53E-11	1,29E-10	1,59E-10	8,81E-11	8,84E-11	8,75E-11
56	Cascalho, no solo	Matéria prima	kg	3,94E+01	4,21E+01	4,50E+01	3,43E+01	3,43E+01	3,41E+01
57	Gesso, no solo	Matéria prima	kg	2,44E+00	2,41E+00	1,95E-01	2,32E+00	2,32E+00	1,88E-01
58	Índio, 0,005% de sulfeto, em 0,003%, Pb, Zn, Ag, Cd, no solo	Matéria prima	kg	1,14E-07	1,43E-07	1,68E-07	1,00E-07	1,00E-07	9,99E-08
59	Ferro, 46% em minério, 25% no minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	9,05E+01	9,07E+01	9,09E+01	8,75E+01	8,75E+01	8,75E+01
60	Caulinita, 24% no minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	7,22E-04	7,62E-04	7,98E-04	6,92E-04	6,92E-04	6,91E-04
61	Kieserita, 25% no minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	2,22E-06	2,44E-06	2,65E-06	2,09E-06	2,09E-06	2,08E-06
62	Chumbo, 5.0% em sulfeto, Pb 3,0%, Zn, Ag, Cd, de, no solo	Matéria prima	kg	4,70E-04	6,04E-04	7,26E-04	4,12E-04	4,13E-04	4,10E-04
63	Lítio, 0.15% em salmoura, no solo	Matéria prima	kg	1,26E-09	1,30E-09	1,33E-09	1,14E-09	1,14E-09	1,14E-09
64	Magnesita, 60% no minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	9,88E-03	1,22E-02	1,46E-02	9,06E-03	9,08E-03	8,94E-03
65	Minério de manganês, no solo	Matéria prima	kg	8,56E-01	8,56E-01	8,56E-01	8,28E-01	8,28E-01	8,28E-01
66	Manganês, 35,7% em depósitos sedimentares, 14,2% no minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	3,56E-03	4,62E-03	5,59E-03	3,18E-03	3,18E-03	3,15E-03
67	Rocha metamórfica, grafite, contendo, no solo	Matéria prima	kg	3,94E-05	5,92E-05	7,69E-05	3,59E-05	3,60E-05	3,55E-05
68	Rocha metamórfica, grafite, contendo, em molibdênio, 0,010% em sulfeto, Mo 8.2E-3% e Cu 1,83% no minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	1,59E-04	2,82E-04	3,92E-04	1,42E-04	1,43E-04	1,39E-04

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
69	Molibdênio, 0,014% em sulfeto, Mo 8.2E-3% e Cu 0,81% no minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	2,25E-05	3,98E-05	5,54E-05	2,00E-05	2,02E-05	1,97E-05
70	Molibdênio, 0,022% em sulfeto, Mo 8.2E-3% e Cu 0,36% no minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	4,81E-05	6,35E-05	7,74E-05	4,25E-05	4,26E-05	4,23E-05
71	Molibdênio, 0,025% em sulfeto, Mo 8.2E-3% e Cu 0,39% no minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	8,25E-05	1,46E-04	2,03E-04	7,34E-05	7,40E-05	7,21E-05
72	Molibdênio, 0,11% de sulfeto, Mo 4.1E-2% e Cu 0,36% no minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	9,67E-05	1,27E-04	1,55E-04	8,55E-05	8,57E-05	8,50E-05
73	Níquel, 1,13% em sulfeto, Ni 0,76% e Cu 0,76% no minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	2,18E-03	2,21E-03	2,24E-03	1,84E-03	1,84E-03	1,84E-03
74	Níquel, 1,98% em silicatos, 1,04% no minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	3,50E-02	5,81E-02	7,89E-02	3,10E-02	3,12E-02	3,05E-02
75	Petróleo bruto, no solo	Matéria prima	kg	1,50E+01	1,05E+01	1,38E+01	2,50E+01	2,51E+01	1,89E+01
76	Olivina, no solo	Matéria prima	kg	1,69E-07	3,27E-06	6,03E-06	3,22E-07	4,06E-07	1,59E-07
77	PD, Pd 2.0E-4%, Pt 4.8E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% no minério, no solo	Matéria prima	kg	1,86E-08	3,20E-08	4,39E-08	1,63E-08	1,65E-08	1,60E-08
78	PD, Pd 7.3E-4%, Pt 2.5E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% no minério, no solo	Matéria prima	kg	4,46E-08	7,69E-08	1,06E-07	3,92E-08	3,97E-08	3,83E-08
79	Fósforo, 18% em apatita, 12% no minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	5,63E-04	6,09E-04	7,21E-04	5,59E-04	5,59E-04	5,39E-04
80	Fósforo, 18% em apatita, 4% no minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	1,02E-03	1,18E-03	1,32E-03	9,66E-04	9,68E-04	9,63E-04
81	Pt, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% no minério, no solo	Matéria prima	kg	4,92E-10	6,94E-10	8,79E-10	4,42E-10	4,44E-10	4,35E-10
82	Pt, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% no minério, no solo	Matéria prima	kg	1,77E-09	2,49E-09	3,15E-09	1,58E-09	1,59E-09	1,56E-09
83	RH, Rh 2.0E-5%, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% no minério, no solo	Matéria prima	kg	2,44E-10	3,26E-10	4,01E-10	2,18E-10	2,20E-10	2,14E-10
84	RH, Rh 2.4E-5%, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% no minério, no solo	Matéria prima	kg	7,64E-10	1,02E-09	1,26E-09	6,82E-10	6,88E-10	6,69E-10
85	Rênio, no minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	4,64E-10	5,70E-10	6,66E-10	4,06E-10	4,08E-10	4,00E-10
86	Areia, não especificada, no solo	Matéria prima	kg	6,05E-05	1,91E-04	3,08E-04	6,03E-05	6,34E-05	5,40E-05

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
87	Xisto, no solo	Matéria prima	kg	1,30E-06	2,67E-05	4,92E-05	2,56E-06	3,25E-06	1,22E-06
88	Prata, 0,007% em sulfeto, Ag 0,004%, Pb, Zn, Cd, de, no solo	Matéria prima	kg	1,08E-06	2,26E-06	3,31E-06	9,35E-07	9,46E-07	9,12E-07
89	Prata, 3,2 ppm em sulfeto, Ag 1.2 ppm, Cu e Te, no minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	7,68E-07	1,61E-06	2,36E-06	6,67E-07	6,75E-07	6,51E-07
90	Prata, Ag 2.1E-4%, Au 2.1E-4%, no minério, no solo	Matéria prima	kg	7,09E-08	1,49E-07	2,18E-07	6,16E-08	6,23E-08	6,01E-08
91	Prata, Ag 4.2E-3%, Au 1.1E-4%, no minério, no solo	Matéria prima	kg	1,62E-07	3,39E-07	4,97E-07	1,41E-07	1,42E-07	1,37E-07
92	Prata, Ag 4.6E-5%, Au 1.3E-4%, no minério, no solo	Matéria prima	kg	1,59E-07	3,33E-07	4,87E-07	1,38E-07	1,40E-07	1,34E-07
93	Prata, Ag 9.7E-4%, Au 9.7E-4%, Zn 0,63%, 0,38% Cu, Pb 0,014%, no minério, no solo	Matéria prima	kg	1,05E-07	2,20E-07	3,22E-07	9,10E-08	9,21E-08	8,87E-08
94	Cloreto de sódio, no solo	Matéria prima	kg	1,85E-01	1,27E+00	2,24E+00	2,07E-01	2,22E-01	1,76E-01
95	Nitrato de sódio, no solo	Matéria prima	kg	3,79E-11	5,98E-11	7,96E-11	3,39E-11	3,41E-11	3,34E-11
96	Sulfato de sódio, várias formas, no solo	Matéria prima	kg	4,08E-04	7,26E-04	1,01E-03	3,58E-04	3,62E-04	3,52E-04
97	Stibnite, no solo	Matéria prima	kg	2,26E-10	2,86E-10	3,43E-10	1,99E-10	2,00E-10	1,98E-10
98	Enxofre, no solo	Matéria prima	kg	2,79E-05	1,31E-04	2,23E-04	2,95E-05	3,14E-05	2,55E-05
99	Outros, 25% em silvinite, no solo	Matéria prima	kg	4,31E-04	5,10E-04	5,82E-04	3,70E-04	3,71E-04	3,68E-04
100	Talco, no solo	Matéria prima	kg	7,97E-05	8,58E-05	1,02E-04	8,15E-05	8,15E-05	7,86E-05
101	Tântalo, 81,9% em tantalita, 1.6E-4% no minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	8,48E-07	1,78E-06	2,61E-06	7,36E-07	7,45E-07	7,19E-07
102	Telúrio, 0,5 ppm em sulfeto, Te 0.2 ppm, Cu e Ag, em minério cru, no solo	Matéria prima	kg	1,15E-07	2,41E-07	3,54E-07	1,00E-07	1,01E-07	9,76E-08
103	Estanho, 79% em cassiterita, 0,1% no minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	5,47E-05	9,56E-05	1,32E-04	4,89E-05	4,92E-05	4,81E-05
104	TiO <sub>2</sub> , 54% em ilmenita, 2,6% no minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	1,80E-03	2,39E+00	4,52E+00	1,62E-03	1,63E-03	1,60E-03
105	TiO <sub>2</sub> , 95% do rutilo, 0,40% no minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	8,27E-09	1,42E-08	1,95E-08	7,24E-09	7,30E-09	7,12E-09



(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
106	Ulexita, no solo	Matéria prima	kg	4,87E-06	7,62E-06	1,01E-05	4,37E-06	4,38E-06	4,33E-06
107	Óxido de urânio, 332 GJ / kg, em minério	Matéria prima	kg	1,68E-05	6,42E-06	6,42E-06	3,01E-05	3,01E-05	2,24E-05
108	Urânio, no solo	Matéria prima	kg	2,67E-04	3,93E-04	5,11E-04	2,42E-04	2,43E-04	2,39E-04
109	Vermiculita, no solo	Matéria prima	kg	9,83E-05	1,45E-05	1,75E-04	2,04E-04	2,04E-04	1,42E-04
110	Volume ocupado, repositório final de resíduos radioativos de baixo-ativo	Matéria prima	m3	5,51E-07	7,99E-07	1,04E-06	4,99E-07	5,00E-07	4,92E-07
111	Volume ocupado, repositório final para resíduos radioativos	Matéria prima	m3	1,36E-07	1,99E-07	2,59E-07	1,23E-07	1,24E-07	1,22E-07
112	Volume ocupado, depósito subterrâneo	Matéria prima	m3	5,46E-06	5,81E-06	6,13E-06	5,23E-06	5,23E-06	5,22E-06
113	Zinco, 9,0% em sulfeto, Zn 5,3%, Pb, Ag, Cd, de, no solo	Matéria prima	kg	5,71E-03	9,89E-03	1,37E-02	5,02E-03	5,06E-03	4,91E-03
114	Zircônio, 50% em zircão, 0,39% no minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	1,16E-06	2,43E-06	3,57E-06	1,00E-06	1,02E-06	9,80E-07
115	Bromo, 0,0023% em água	Matéria prima	kg	4,42E-07	4,51E-07	4,60E-07	3,90E-07	3,90E-07	3,90E-07
116	Energia potencial (em reservatório de energia hidrelétrica), convertido	Matéria prima	MJ	2,08E+01	2,95E+01	3,80E+01	1,89E+01	1,90E+01	1,87E+01
117	Iodo, 0,03% em água	Matéria prima	kg	1,01E-07	1,04E-07	1,06E-07	8,92E-08	8,92E-08	8,91E-08
118	Magnésio, 0,13% em água	Matéria prima	kg	1,24E-05	1,27E-05	1,29E-05	1,05E-05	1,05E-05	1,05E-05
119	Volume ocupado, reservatório	Matéria prima	m3y	3,68E-01	5,15E-01	6,62E-01	3,35E-01	3,36E-01	3,29E-01
120	Água, refrigeração, não especificado de origem natural/m3	Matéria prima	m3	7,13E-01	1,33E+00	1,88E+00	6,43E-01	6,49E-01	6,30E-01
121	Água, lago	Matéria prima	m3	9,16E-02	1,40E-02	1,63E-01	1,90E-01	1,89E-01	1,32E-01
122	Água, processo, indeterminado origem natural/m3	Matéria prima	m3	1,79E-02	1,66E-02	1,99E-02	1,07E-02	9,41E-03	1,25E-02
123	Água, Rio	Matéria prima	m3	4,20E-01	2,49E-01	7,39E-01	6,95E-01	6,95E-01	5,26E-01
124	Oceano de sal, água,	Matéria prima	m3	2,32E-02	3,40E-02	4,38E-02	2,07E-02	2,07E-02	2,05E-02
125	Sola de sal, água,	Matéria prima	m3	4,86E-03	6,54E-03	8,05E-03	4,31E-03	4,32E-03	4,29E-03
126	Água, uso de turbina, origem natural não especificada	Matéria prima	m3	1,66E+02	2,37E+02	3,05E+02	1,51E+02	1,51E+02	1,49E+02
127	Água, não especificado origem natural/m3	Matéria prima	m3	5,97E-01	6,57E-01	7,11E-01	5,67E-01	5,68E-01	5,67E-01

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
128	Água, bem, no solo	Matéria prima	m3	2,89E-01	1,23E-01	4,79E-01	5,11E-01	5,11E-01	3,78E-01
129	Ocupação, culturas arvenses, sequeiro	Matéria prima	m2a	8,03E-02	8,08E-02	8,12E-02	6,83E-02	6,83E-02	6,82E-02
130	Ocupação, local de construção	Matéria prima	m2a	4,33E-03	6,83E-03	9,12E-03	3,90E-03	3,91E-03	3,85E-03
131	Ocupação, local de desova	Matéria prima	m2a	2,73E-01	2,93E-01	3,12E-01	2,62E-01	2,62E-01	2,61E-01
132	Ocupação, local de desova, Bentos	Matéria prima	m2a	3,78E-03	5,16E-03	6,41E-03	3,30E-03	3,31E-03	3,29E-03
133	Ocupação, floresta, terapia intensiva	Matéria prima	m2a	1,53E-02	3,21E-02	4,71E-02	1,42E-02	1,42E-02	1,41E-02
134	Ocupação, intensivo, normal de floresta,	Matéria prima	m2a	3,97E+02	3,98E+02	3,98E+02	3,37E+02	3,37E+02	3,37E+02
135	Ocupação, floresta, intensivo, ciclo curto	Matéria prima	m2a	2,35E-04	3,04E-04	3,67E-04	2,10E-04	2,10E-04	2,09E-04
136	Ocupação, área industrial	Matéria prima	m2a	2,27E-01	2,36E-01	2,59E-01	2,17E-01	2,17E-01	2,12E-01
137	Ocupação, área industrial, Bentos	Matéria prima	m2a	3,33E-05	4,54E-05	5,64E-05	2,91E-05	2,91E-05	2,90E-05
138	Ocupação, área industrial, constituída	Matéria prima	m2a	8,40E-02	1,07E-01	1,28E-01	7,78E-02	7,80E-02	7,73E-02
139	Ocupação, área industrial, vegetação	Matéria prima	m2a	3,21E-02	3,95E-02	4,63E-02	2,91E-02	2,92E-02	2,89E-02
140	Ocupação, local de extração mineral	Matéria prima	m2a	1,29E-01	1,39E-01	1,49E-01	1,22E-01	1,22E-01	1,22E-01
141	Ocupação agrícola permanente, fruta, terapia intensiva	Matéria prima	m2a	3,04E-04	3,98E-04	4,82E-04	2,70E-04	2,70E-04	2,69E-04
142	Ocupação, terra de arbusto, esclerófitas	Matéria prima	m2a	1,79E-03	2,84E-03	3,83E-03	1,62E-03	1,62E-03	1,60E-03
143	Ocupação, área de tráfego, aterro ferroviário	Matéria prima	m2a	4,21E-02	4,85E-02	5,42E-02	3,91E-02	3,91E-02	3,90E-02
144	Ocupação, a área de tráfego, a rede ferroviária	Matéria prima	m2a	4,65E-02	5,36E-02	5,99E-02	4,32E-02	4,32E-02	4,31E-02
145	Ocupação, área de tráfego, aterro da estrada	Matéria prima	m2a	3,89E+00	3,89E+00	3,89E+00	3,29E+00	3,29E+00	3,29E+00
146	Ocupação, a área de tráfego, a rede rodoviária	Matéria prima	m2a	5,18E-02	6,63E-02	7,97E-02	4,72E-02	4,72E-02	4,70E-02
147	Ocupação, urbana, construída de forma descontínua	Matéria prima	m2a	7,56E-05	7,63E-05	7,70E-05	6,44E-05	6,44E-05	6,44E-05
148	Ocupação, corpos d'água, artificial	Matéria prima	m2a	5,54E-02	7,38E-02	9,07E-02	5,12E-02	5,13E-02	5,09E-02
149	Ocupação, cursos de água, artificial	Matéria prima	m2a	4,13E-02	5,08E-02	5,96E-02	3,88E-02	3,89E-02	3,86E-02
150	Transformação, de culturas arvenses	Matéria prima	m2	2,30E-05	3,41E-05	4,45E-05	2,10E-05	2,11E-05	2,06E-05
151	Transformação, de culturas arvenses, sequeiro	Matéria prima	m2	1,48E-01	1,49E-01	1,50E-01	1,26E-01	1,26E-01	1,26E-01
152	Transformação, de culturas arvenses, sequeiro, fallow	Matéria prima	m2	3,38E-06	5,04E-06	6,62E-06	3,12E-06	3,14E-06	3,06E-06
153	Transformação, de desova, aterro de material inerte	Matéria prima	m2	2,77E-04	3,31E-04	3,81E-04	2,45E-04	2,45E-04	2,44E-04

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
154	Transformação, de desova, aterro de material residual	Matéria prima	m2	7,23E-05	2,29E-04	3,69E-04	6,61E-05	6,64E-05	6,54E-05
155	Transformação, de desova, aterro sanitário	Matéria prima	m2	6,12E-06	3,73E-06	1,03E-05	9,77E-06	9,77E-06	7,48E-06
156	Transformação, de desova, compartimento de escória	Matéria prima	m2	3,64E-06	3,79E-06	3,93E-06	3,11E-06	3,11E-06	3,09E-06
157	Transformação, de floresta	Matéria prima	m2	9,47E-03	1,29E-02	1,59E-02	8,37E-03	8,38E-03	8,32E-03
158	Transformação, de floresta, extensa	Matéria prima	m2	2,67E+00	2,67E+00	2,68E+00	2,26E+00	2,26E+00	2,26E+00
159	Transformação, de floresta, intensiva, desmatamento	Matéria prima	m2	8,39E-06	1,09E-05	1,31E-05	7,50E-06	7,51E-06	7,47E-06
160	Transformação, da área industrial	Matéria prima	m2	7,04E-05	9,92E-05	1,26E-04	6,21E-05	6,22E-05	6,16E-05
161	Transformação, da área industrial, Bentos	Matéria prima	m2	2,32E-07	3,19E-07	3,95E-07	2,00E-07	2,00E-07	2,00E-07
162	Transformação, da área industrial, constituída	Matéria prima	m2	3,63E-07	4,19E-07	4,70E-07	3,44E-07	3,45E-07	3,43E-07
163	Transformação, da área industrial, vegetação	Matéria prima	m2	6,19E-07	7,15E-07	8,02E-07	5,87E-07	5,88E-07	5,85E-07
164	Transformação, do local de extração mineral	Matéria prima	m2	1,21E-03	1,42E-03	1,62E-03	1,14E-03	1,14E-03	1,13E-03
165	Transformação, de prados e pastagens	Matéria prima	m2	7,60E-04	1,17E-03	1,54E-03	6,85E-04	6,87E-04	6,77E-04
166	Transformação, de prados e pastagens, intensiva	Matéria prima	m2	1,21E-04	1,22E-04	1,22E-04	1,03E-04	1,03E-04	1,03E-04
167	Transformação, do mar e oceano	Matéria prima	m2	3,78E-03	5,17E-03	6,41E-03	3,31E-03	3,31E-03	3,29E-03
168	Transformação, da terra de arbusto, esclerófitas	Matéria prima	m2	4,58E-04	7,10E-04	9,46E-04	4,14E-04	4,15E-04	4,09E-04
169	Transformação, de floresta tropical	Matéria prima	m2	8,39E-06	1,09E-05	1,31E-05	7,50E-06	7,51E-06	7,47E-06
170	Transformação, do desconhecido	Matéria prima	m2	1,86E-02	2,00E-02	2,15E-02	1,75E-02	1,75E-02	1,74E-02
171	Transformação, a culturas arvenses	Matéria prima	m2	9,06E-04	1,19E-03	1,44E-03	8,18E-04	8,19E-04	8,15E-04
172	Transformação, a culturas arvenses, sequeiro	Matéria prima	m2	1,49E-01	1,49E-01	1,50E-01	1,26E-01	1,26E-01	1,26E-01
173	Transformação, a culturas arvenses, sequeiro	Matéria prima	m2	7,31E-06	1,08E-05	1,42E-05	6,70E-06	6,74E-06	6,57E-06
174	Transformação, a desova	Matéria prima	m2	2,21E-03	2,33E-03	2,45E-03	2,12E-03	2,12E-03	2,12E-03
175	Transformação, a desova, Bentos	Matéria prima	m2	3,78E-03	5,16E-03	6,41E-03	3,30E-03	3,31E-03	3,29E-03
176	Transformação, a desova, aterro de material inerte	Matéria prima	m2	2,77E-04	3,31E-04	3,81E-04	2,45E-04	2,45E-04	2,44E-04
177	Transformação, a desova, aterro de material residual	Matéria prima	m2	7,23E-05	2,29E-04	3,69E-04	6,61E-05	6,64E-05	6,54E-05

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
178	Transformação, a desova, aterro sanitário	Matéria prima	m2	6,12E-06	3,73E-06	1,03E-05	9,77E-06	9,77E-06	7,48E-06
179	Transformação, a desova, compartimento de escória	Matéria prima	m2	3,64E-06	3,79E-06	3,93E-06	3,11E-06	3,11E-06	3,09E-06
180	Transformação, a floresta	Matéria prima	m2	6,51E-04	8,83E-04	1,10E-03	5,98E-04	5,99E-04	5,93E-04
181	Transformação, a floresta, intensiva	Matéria prima	m2	1,02E-04	2,14E-04	3,13E-04	9,46E-05	9,49E-05	9,39E-05
182	Transformação, a floresta, intensiva, desmatamento	Matéria prima	m2	8,39E-06	1,09E-05	1,31E-05	7,50E-06	7,51E-06	7,47E-06
183	Transformação, intensivo, normal de floresta,	Matéria prima	m2	2,64E+00	2,65E+00	2,65E+00	2,24E+00	2,24E+00	2,24E+00
184	Transformação, a floresta, intensivo, ciclo curto	Matéria prima	m2	8,39E-06	1,09E-05	1,31E-05	7,50E-06	7,51E-06	7,47E-06
185	Transformação, a heterogeneidade, agrícola	Matéria prima	m2	4,43E-04	5,94E-04	7,30E-04	3,91E-04	3,91E-04	3,89E-04
186	Transformação, a área industrial	Matéria prima	m2	5,81E-03	5,91E-03	6,22E-03	5,40E-03	5,40E-03	5,34E-03
187	Transformação, a área industrial, Bentos	Matéria prima	m2	3,94E-06	6,43E-06	8,65E-06	3,49E-06	3,52E-06	3,45E-06
188	Transformação, a área industrial, constituída	Matéria prima	m2	1,70E-03	2,18E-03	2,61E-03	1,57E-03	1,58E-03	1,56E-03
189	Transformação, a área industrial, vegetação	Matéria prima	m2	6,58E-04	8,13E-04	9,53E-04	5,96E-04	5,98E-04	5,92E-04
190	Transformação, ao local de extração mineral	Matéria prima	m2	1,56E-02	1,90E-02	2,21E-02	1,42E-02	1,43E-02	1,42E-02
191	Transformação, de prados e pastagens	Matéria prima	m2	4,23E-05	5,74E-05	7,08E-05	3,68E-05	3,68E-05	3,67E-05
192	Transformação, a agricultura permanente, fruta	Matéria prima	m2	4,28E-06	5,60E-06	6,79E-06	3,80E-06	3,80E-06	3,78E-06
193	Transformação, para o mar e oceano	Matéria prima	m2	2,32E-07	3,19E-07	3,95E-07	2,00E-07	2,00E-07	2,00E-07
194	Transformação, a terra de vegetação arbustiva, esclerófitas	Matéria prima	m2	3,59E-04	5,68E-04	7,65E-04	3,24E-04	3,25E-04	3,20E-04
195	Transformação, a área de trânsito, aterro ferroviário	Matéria prima	m2	9,79E-05	1,13E-04	1,26E-04	9,09E-05	9,10E-05	9,06E-05
196	Transformação, a área de tráfego, a rede ferroviária	Matéria prima	m2	1,08E-04	1,24E-04	1,39E-04	9,99E-05	1,00E-04	9,96E-05
197	Transformação, a área de trânsito, o aterro da estrada	Matéria prima	m2	2,59E-02	2,59E-02	2,60E-02	2,19E-02	2,19E-02	2,19E-02
198	Transformação, a área de trânsito, rede viária	Matéria prima	m2	5,26E-04	6,99E-04	8,57E-04	4,81E-04	4,81E-04	4,78E-04
199	Transformação, para o desconhecido	Matéria prima	m2	4,38E-04	5,04E-04	5,64E-04	4,16E-04	4,16E-04	4,14E-04
200	Transformação, ao urbano, construção descontínua	Matéria prima	m2	1,51E-06	1,52E-06	1,53E-06	1,28E-06	1,28E-06	1,28E-06

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
201	Transformação, de corpos, artificiais de água	Matéria prima	m2	6,62E-04	8,10E-04	9,47E-04	6,03E-04	6,03E-04	6,00E-04
202	Transformação, para cursos de água, artificial	Matéria prima	m2	4,12E-04	5,19E-04	6,19E-04	3,85E-04	3,86E-04	3,83E-04
203	2-Chloroacetophenone	Ar	kg	1,80E-08	1,80E-08	1,80E-08	1,74E-08	1,74E-08	1,74E-08
204	5-metil-Chrysene	Ar	kg	6,33E-11	5,91E-11	5,91E-11	6,68E-11	6,68E-11	6,37E-11
205	Acenafteno	Ar	kg	1,47E-09	1,37E-09	1,37E-09	1,55E-09	1,55E-09	1,48E-09
206	Acenaphthylene	Ar	kg	7,20E-10	6,72E-10	6,72E-10	7,59E-10	7,59E-10	7,24E-10
207	Acetaldeído	Ar	kg	1,77E-05	1,84E-05	1,92E-05	1,68E-05	1,68E-05	1,67E-05
208	Ácido acético	Ar	kg	3,04E-05	4,98E-03	9,38E-03	2,95E-05	2,98E-05	2,91E-05
209	Acetofenona	Ar	kg	3,85E-08	3,85E-08	3,85E-08	3,73E-08	3,73E-08	3,73E-08
210	Acroleína	Ar	kg	6,22E-07	5,58E-07	5,58E-07	6,86E-07	6,86E-07	6,39E-07
211	Aldeídos, não especificados.	Ar	kg	3,55E-04	2,21E-05	2,21E-05	7,87E-04	7,87E-04	5,42E-04
212	Alumínio	Ar	kg	1,33E-02	1,37E-02	1,41E-02	1,28E-02	1,28E-02	1,28E-02
213	Amônia	Ar	kg	5,72E-03	5,81E-03	6,05E-03	5,70E-03	5,70E-03	5,57E-03
214	Cloreto de amônio	Ar	kg	8,93E-07	3,41E-07	3,41E-07	1,60E-06	1,60E-06	1,19E-06
215	Antraceno	Ar	kg	6,05E-10	5,64E-10	5,64E-10	6,38E-10	6,38E-10	6,08E-10
216	Antraceno	Ar	kg	5,35E-08	5,03E-08	5,07E-08	5,62E-08	5,62E-08	5,37E-08
217	Arsénio	Ar	kg	3,86E-06	3,75E-06	3,75E-06	3,88E-06	3,88E-06	3,79E-06
218	Bário	Ar	kg	3,39E-15	4,96E-15	6,46E-15	3,08E-15	3,09E-15	3,03E-15
219	Cloreto de benzal	Ar	kg	1,09E-15	1,91E-15	2,66E-15	9,61E-16	9,69E-16	9,42E-16
220	Benzeno	Ar	kg	2,91E-03	2,91E-03	2,91E-03	2,81E-03	2,81E-03	2,81E-03
221	Benzeno, cloro-	Ar	kg	5,65E-08	5,65E-08	5,65E-08	5,47E-08	5,47E-08	5,46E-08
222	Benzene, ethyl-	Ar	kg	2,42E-07	2,42E-07	2,42E-07	2,34E-07	2,34E-07	2,34E-07
223	Benzeno, hexacloro-	Ar	kg	6,38E-09	7,92E-09	9,51E-09	5,84E-09	5,85E-09	5,76E-09
224	Benzo (a) antraceno	Ar	kg	2,30E-10	2,15E-10	2,15E-10	2,43E-10	2,43E-10	2,32E-10
225	Benzo (a) pireno	Ar	kg	1,13E-07	1,46E-07	1,76E-07	9,95E-08	9,96E-08	9,89E-08
226	Benzo (b, j, k) fluoranteno	Ar	kg	3,17E-10	2,96E-10	2,96E-10	3,34E-10	3,34E-10	3,19E-10
227	Benzo (g, h, i) perileno	Ar	kg	7,77E-11	7,26E-11	7,26E-11	8,20E-11	8,20E-11	7,82E-11
228	Cloreto de benzila	Ar	kg	1,80E-06	1,80E-06	1,80E-06	1,74E-06	1,74E-06	1,74E-06
229	Berílio	Ar	kg	2,29E-06	2,28E-06	2,28E-06	2,22E-06	2,22E-06	2,21E-06

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
230	Bifenil	Ar	kg	3,48E-04	3,48E-04	3,48E-04	3,37E-04	3,37E-04	3,37E-04
231	Boro	Ar	kg	1,96E-14	2,86E-14	3,73E-14	1,78E-14	1,78E-14	1,75E-14
232	Bromo	Ar	kg	1,60E-14	2,34E-14	3,05E-14	1,45E-14	1,46E-14	1,43E-14
233	Bromofórmio	Ar	kg	1,00E-07	1,00E-07	1,00E-07	9,69E-08	9,69E-08	9,69E-08
234	BTEX (benzeno, tolueno, Etilbenzeno e xileno), relação não especificado.	Ar	kg	1,31E-04	2,03E-05	2,03E-05	2,75E-04	2,75E-04	1,93E-04
235	Butadieno	Ar	kg	1,10E-08	7,47E-09	7,57E-09	1,54E-08	1,54E-08	1,28E-08
236	Butano	Ar	kg	1,57E-08	2,74E-08	3,80E-08	1,38E-08	1,39E-08	1,35E-08
237	Cádmio	Ar	kg	3,41E-06	3,39E-06	3,40E-06	3,33E-06	3,33E-06	3,31E-06
238	Dióxido de carbono, biogênico	Ar	kg	7,01E-02	6,52E-02	7,94E-02	9,13E-02	9,14E-02	7,65E-02
239	Dióxido de carbono, fóssil	Ar	kg	1,61E+02	1,59E+02	1,60E+02	1,59E+02	1,59E+02	1,57E+02
240	Dissulfeto de carbono	Ar	kg	3,34E-07	3,34E-07	3,34E-07	3,23E-07	3,23E-07	3,23E-07
241	Monóxido de carbono	Ar	kg	6,24E-06	1,25E-06	1,25E-06	1,27E-05	1,27E-05	9,01E-06
242	Monóxido de carbono, fóssil	Ar	kg	4,49E+01	4,06E+01	4,17E+01	4,30E+01	3,93E+01	4,03E+01
243	Cloreto	Ar	kg	2,40E-11	9,18E-12	9,18E-12	4,30E-11	4,30E-11	3,21E-11
244	Cloro	Ar	kg	1,69E-09	2,53E-09	3,29E-09	1,54E-09	1,55E-09	1,52E-09
245	Clorofórmio	Ar	kg	1,52E-07	1,52E-07	1,52E-07	1,47E-07	1,47E-07	1,47E-07
246	Cromo	Ar	kg	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04	1,93E-04	1,93E-04	1,93E-04
247	Crômio VI	Ar	kg	2,28E-07	2,13E-07	2,13E-07	2,40E-07	2,40E-07	2,29E-07
248	Chrysene	Ar	kg	2,88E-10	2,69E-10	2,69E-10	3,04E-10	3,04E-10	2,90E-10
249	Cobalto	Ar	kg	4,79E-07	3,17E-07	3,18E-07	6,78E-07	6,78E-07	5,59E-07
250	Cobre	Ar	kg	1,40E-05	1,50E-05	1,59E-05	1,28E-05	1,28E-05	1,28E-05
251	Cumeno	Ar	kg	1,36E-08	1,36E-08	1,36E-08	1,32E-08	1,32E-08	1,32E-08
252	Cianeto	Ar	kg	6,42E-06	6,42E-06	6,42E-06	6,21E-06	6,21E-06	6,21E-06
253	Monóxido de dinitrogênio	Ar	kg	2,39E-03	2,48E-03	2,58E-03	2,30E-03	2,30E-03	2,28E-03
254	Dioxina, 2,3,7,8 tetraclorodibenzo-p -	Ar	kg	6,27E-10	6,28E-10	6,30E-10	6,07E-10	6,07E-10	6,07E-10
255	Etano	Ar	kg	2,32E-08	4,05E-08	5,62E-08	2,03E-08	2,05E-08	1,99E-08
256	Etano, 1, 1,1 - Tricloro-, HCFC-140	Ar	kg	5,22E-08	5,14E-08	5,14E-08	5,15E-08	5,15E-08	5,09E-08
257	Etano, 1,1,1,2 - borrachas tetrafluoro-, HFC-134a	Ar	kg	4,77E-06	5,72E-06	6,57E-06	4,15E-06	4,16E-06	4,14E-06

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
258	Etano, 1,2-dibromo -	Ar	kg	3,08E-09	3,08E-09	3,08E-09	2,98E-09	2,98E-09	2,98E-09
259	Etano, 1,2-dicloro -	Ar	kg	1,03E-07	1,03E-07	1,03E-07	9,94E-08	9,94E-08	9,94E-08
260	Etano, cloro-	Ar	kg	1,08E-07	1,08E-07	1,08E-07	1,04E-07	1,04E-07	1,04E-07
261	Etano, hexafluoro-, HFC-116	Ar	kg	6,28E-07	9,43E-07	1,23E-06	5,72E-07	5,75E-07	5,65E-07
262	Eteno, cloro-	Ar	kg	6,26E-17	1,09E-16	1,52E-16	5,50E-17	5,54E-17	5,39E-17
263	Eteno, tetracloro-	Ar	kg	1,27E-07	1,17E-07	1,17E-07	1,37E-07	1,37E-07	1,29E-07
264	Óxido de etileno	Ar	kg	1,02E-09	2,12E-09	3,10E-09	8,82E-10	8,93E-10	8,61E-10
265	Ethyne	Ar	kg	3,03E-08	9,10E-04	1,72E-03	2,69E-08	2,71E-08	2,65E-08
266	Fluoranteno	Ar	kg	2,04E-09	1,91E-09	1,91E-09	2,16E-09	2,16E-09	2,06E-09
267	Fluorene	Ar	kg	2,62E-09	2,45E-09	2,45E-09	2,76E-09	2,76E-09	2,64E-09
268	Fluoride	Ar	kg	1,15E-04	1,15E-04	1,15E-04	1,11E-04	1,11E-04	1,11E-04
269	Flúor	Ar	kg	3,72E-10	5,20E-10	6,53E-10	3,32E-10	3,34E-10	3,29E-10
270	Formaldeído	Ar	kg	3,79E-03	3,80E-03	3,80E-03	3,24E-03	3,24E-03	3,23E-03
271	Furano	Ar	kg	1,41E-12	5,38E-13	5,38E-13	2,52E-12	2,52E-12	1,88E-12
272	Calor, resíduos	Ar	MJ	9,89E+02	1,01E+03	1,03E+03	9,37E+02	9,36E+02	9,36E+02
273	Hélio	Ar	kg	5,30E-14	7,89E-14	1,03E-13	4,78E-14	4,80E-14	4,73E-14
274	Hexano	Ar	kg	1,86E-07	1,96E-07	2,05E-07	1,78E-07	1,78E-07	1,78E-07
275	Hidrazina, metil-	Ar	kg	4,37E-07	4,37E-07	4,37E-07	4,22E-07	4,22E-07	4,22E-07
276	Hidrocarbonetos alifáticos, alcanos, não especificados.	Ar	kg	1,27E-02	1,27E-02	1,27E-02	1,22E-02	1,22E-02	1,22E-02
277	Hidrocarbonetos alifáticos, insaturados	Ar	kg	6,04E-15	8,82E-15	1,15E-14	5,47E-15	5,49E-15	5,39E-15
278	Hidrocarbonetos, aromáticos	Ar	kg	2,47E-05	3,07E-05	3,69E-05	2,26E-05	2,26E-05	2,23E-05
279	Hidrocarbonetos clorados	Ar	kg	5,48E-07	7,60E-07	9,50E-07	4,85E-07	4,87E-07	4,80E-07
280	Hidrocarbonetos, não especificados.	Ar	kg	5,15E-06	1,97E-06	1,97E-06	9,22E-06	9,22E-06	6,88E-06
281	Hidrogênio	Ar	kg	1,80E-06	2,95E-04	5,55E-04	1,75E-06	1,76E-06	1,72E-06
282	Cloreto de hidrogênio	Ar	kg	5,90E-03	5,70E-03	5,74E-03	6,02E-03	6,02E-03	5,84E-03
283	Fluoreto de hidrogênio	Ar	kg	1,47E-02	1,47E-02	1,47E-02	1,43E-02	1,43E-02	1,42E-02
284	Sulfeto de hidrogênio	Ar	kg	4,77E-04	4,86E-04	4,94E-04	4,60E-04	4,60E-04	4,60E-04
285	Indeno(1,2,3-CD) pireno	Ar	kg	1,76E-10	1,64E-10	1,64E-10	1,85E-10	1,85E-10	1,77E-10

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
286	Iodo	Ar	kg	8,17E-15	1,19E-14	1,55E-14	7,41E-15	7,43E-15	7,29E-15
287	Ferro	Ar	kg	4,81E-06	6,07E-06	7,22E-06	4,34E-06	4,34E-06	4,31E-06
288	Isoforona	Ar	kg	1,49E-06	1,49E-06	1,49E-06	1,44E-06	1,44E-06	1,44E-06
289	Isopreno	Ar	kg	7,88E-04	3,01E-04	3,01E-04	1,41E-03	1,41E-03	1,05E-03
290	Querosene	Ar	kg	4,27E-07	1,63E-07	1,63E-07	7,65E-07	7,65E-07	5,71E-07
291	Chumbo	Ar	kg	3,82E-04	3,83E-04	3,83E-04	3,70E-04	3,70E-04	3,69E-04
292	Chumbo-210	Ar	Bq	3,39E-09	4,96E-09	6,46E-09	3,08E-09	3,09E-09	3,03E-09
293	Magnésio	Ar	kg	3,17E-05	2,96E-05	2,96E-05	3,34E-05	3,34E-05	3,19E-05
294	Manganês	Ar	kg	4,91E-05	4,91E-05	4,92E-05	4,76E-05	4,76E-05	4,75E-05
295	Mercaptanos, não especificados.	Ar	kg	5,58E-04	5,58E-04	5,58E-04	5,39E-04	5,39E-04	5,39E-04
296	Mercúrio	Ar	kg	2,94E-05	2,96E-05	2,98E-05	2,84E-05	2,84E-05	2,84E-05
297	Metais, não especificados.	Ar	kg	8,92E-14	3,40E-14	3,40E-14	1,60E-13	1,60E-13	1,19E-13
298	Metano	Ar	kg	1,03E-01	6,84E-02	6,84E-02	1,45E-01	1,45E-01	1,20E-01
299	Metano biogênico	Ar	kg	5,70E-04	8,46E-04	1,10E-03	5,14E-04	5,15E-04	5,09E-04
300	Metano, bromo-, Halon 1001	Ar	kg	4,11E-07	4,11E-07	4,11E-07	3,97E-07	3,97E-07	3,97E-07
301	Metano, dicloro-, HCC-30	Ar	kg	1,07E-06	8,95E-07	8,95E-07	1,27E-06	1,27E-06	1,14E-06
302	Metano, dichlorodifluoro-, CFC-12	Ar	kg	1,01E-09	6,29E-11	6,29E-11	2,25E-09	2,25E-09	1,55E-09
303	Metano, fóssil	Ar	kg	3,12E-03	6,81E-03	1,12E-02	4,68E-03	4,68E-03	3,73E-03
304	Metano, monocloro-, R-40	Ar	kg	1,36E-06	1,36E-06	1,36E-06	1,32E-06	1,32E-06	1,32E-06
305	Metano, tetracloro-, CFC-10	Ar	kg	1,02E-10	6,42E-12	6,47E-12	2,25E-10	2,25E-10	1,55E-10
306	Metano, borrachas tetrafluoro-, CFC-14	Ar	kg	5,65E-06	8,49E-06	1,10E-05	5,14E-06	5,17E-06	5,09E-06
307	Metanol	Ar	kg	1,53E-05	2,51E-03	4,73E-03	1,49E-05	1,50E-05	1,46E-05
308	Metil etil cetona	Ar	kg	1,00E-06	1,00E-06	1,00E-06	9,69E-07	9,69E-07	9,69E-07
309	Metacrilato de metila	Ar	kg	5,14E-08	5,14E-08	5,14E-08	4,97E-08	4,97E-08	4,97E-08
310	Molibdênio	Ar	kg	1,82E-11	2,69E-11	3,50E-11	1,64E-11	1,64E-11	1,62E-11
311	Naftaleno	Ar	kg	1,81E-03	1,81E-03	1,81E-03	1,75E-03	1,75E-03	1,75E-03
312	Níquel	Ar	kg	1,91E-04	1,89E-04	1,89E-04	1,87E-04	1,87E-04	1,86E-04
313	Óxidos de azoto	Ar	kg	4,59E-01	4,43E-01	4,50E-01	4,64E-01	4,64E-01	4,46E-01



(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
314	COV não-metano, os compostos orgânicos voláteis não metânicos, de origem não-especificada	Ar	kg	3,42E-02	1,89E-02	1,97E-02	5,32E-02	5,32E-02	4,13E-02
315	Ácidos orgânicos	Ar	kg	3,28E-09	1,25E-09	1,25E-09	5,87E-09	5,87E-09	4,38E-09
316	Substâncias orgânicas, não especificadas.	Ar	kg	1,75E-05	1,63E-05	1,63E-05	1,85E-05	1,85E-05	1,76E-05
317	Ozônio	Ar	kg	1,58E-04	2,34E-04	3,04E-04	1,43E-04	1,43E-04	1,41E-04
318	PAH, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	Ar	kg	4,96E-05	5,08E-05	5,19E-05	4,72E-05	4,71E-05	4,71E-05
319	Partículas, < 2.5...	Ar	kg	2,88E-02	2,91E-02	2,95E-02	2,69E-02	2,69E-02	2,69E-02
320	Partículas, > 10...	Ar	kg	2,16E-03	2,43E-03	2,67E-03	1,96E-03	1,96E-03	1,96E-03
321	Partículas, > 2.5, e < 10um	Ar	kg	2,54E-02	2,50E-02	2,52E-02	2,52E-02	2,52E-02	2,48E-02
322	Partículas, não especificadas.	Ar	kg	1,60E-01	1,57E-01	1,57E-01	1,58E-01	1,58E-01	1,56E-01
323	Pentano	Ar	kg	1,95E-08	3,40E-08	4,72E-08	1,71E-08	1,72E-08	1,67E-08
324	Fenantreno	Ar	kg	9,47E-05	9,47E-05	9,47E-05	9,16E-05	9,16E-05	9,16E-05
325	Fenol	Ar	kg	9,20E-08	1,32E-07	1,68E-07	8,51E-08	8,55E-08	8,43E-08
326	Fenóis, não especificados.	Ar	kg	2,25E-07	1,30E-07	1,30E-07	3,44E-07	3,44E-07	2,74E-07
327	Fósforo	Ar	kg	1,79E-09	2,69E-09	3,48E-09	1,63E-09	1,64E-09	1,62E-09
328	Ftalato, dioctil-	Ar	kg	1,88E-07	1,88E-07	1,88E-07	1,81E-07	1,81E-07	1,81E-07
329	Polônio-210	Ar	Bq	6,20E-09	9,06E-09	1,18E-08	5,62E-09	5,64E-09	5,53E-09
330	Bifenilos policlorados	Ar	kg	5,80E-07	5,82E-07	5,85E-07	5,60E-07	5,60E-07	5,60E-07
331	Potássio-40	Ar	Bq	8,35E-10	1,22E-09	1,59E-09	7,56E-10	7,59E-10	7,45E-10
332	Propanal	Ar	kg	9,76E-07	9,76E-07	9,76E-07	9,44E-07	9,44E-07	9,44E-07
333	Propano	Ar	kg	1,19E-08	2,08E-08	2,89E-08	1,05E-08	1,06E-08	1,03E-08
334	Propeno	Ar	kg	7,18E-07	4,78E-07	4,78E-07	1,01E-06	1,01E-06	8,36E-07
335	Ácido propiônico	Ar	kg	2,71E-10	4,73E-10	6,57E-10	2,38E-10	2,40E-10	2,33E-10
336	Pireno	Ar	kg	9,50E-10	8,87E-10	8,87E-10	1,00E-09	1,00E-09	9,56E-10
337	Espécie radioativa, não especificado.	Ar	Bq	1,76E+04	6,71E+03	6,71E+03	3,14E+04	3,14E+04	2,34E+04
338	Radionuclídeos (incluindo radão)	Ar	kg	2,39E-05	9,12E-06	9,12E-06	4,28E-05	4,28E-05	3,19E-05
339	Rádio-226	Ar	Bq	8,76E-10	1,28E-09	1,67E-09	7,94E-10	7,96E-10	7,82E-10
340	Rádio-228	Ar	Bq	2,59E-10	3,79E-10	4,94E-10	2,35E-10	2,36E-10	2,32E-10

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
341	Radão-220	Ar	Bq	1,82E-08	2,66E-08	3,47E-08	1,65E-08	1,66E-08	1,63E-08
342	Radônio-222	Ar	Bq	1,02E-08	1,49E-08	1,95E-08	9,27E-09	9,30E-09	9,13E-09
343	Selênio	Ar	kg	2,19E-05	2,17E-05	2,17E-05	2,16E-05	2,16E-05	2,14E-05
344	Silício	Ar	kg	2,09E-13	3,12E-13	4,05E-13	1,89E-13	1,89E-13	1,87E-13
345	Sódio	Ar	kg	1,10E-09	1,40E-09	1,67E-09	9,56E-10	9,59E-10	9,50E-10
346	Estrôncio	Ar	kg	3,09E-15	4,52E-15	5,89E-15	2,80E-15	2,81E-15	2,76E-15
347	Estireno	Ar	kg	6,42E-08	6,42E-08	6,42E-08	6,21E-08	6,21E-08	6,21E-08
348	Sulfato de sódio	Ar	kg	6,04E-09	7,60E-09	9,02E-09	5,33E-09	5,33E-09	5,31E-09
349	Dióxido de enxofre	Ar	kg	1,49E+00	1,48E+00	1,48E+00	1,46E+00	1,46E+00	1,45E+00
350	Hexafluoreto de enxofre	Ar	kg	2,13E-06	3,25E-06	4,28E-06	1,91E-06	1,91E-06	1,89E-06
351	Óxidos de enxofre	Ar	kg	2,37E-02	2,15E-03	2,15E-03	5,16E-02	5,16E-02	3,58E-02
352	Ácido sulfúrico, éster dimetilico	Ar	kg	1,23E-07	1,23E-07	1,23E-07	1,19E-07	1,19E-07	1,19E-07
353	t-butil-éter metil	Ar	kg	8,99E-08	8,99E-08	8,99E-08	8,69E-08	8,69E-08	8,69E-08
354	Alcatrão	Ar	kg	2,70E-11	1,03E-11	1,03E-11	4,84E-11	4,84E-11	3,61E-11
355	Tálio	Ar	kg	1,09E-08	1,26E-08	1,49E-08	1,01E-08	1,01E-08	9,84E-09
356	Tório-228	Ar	Bq	1,40E-10	2,04E-10	2,66E-10	1,27E-10	1,27E-10	1,25E-10
357	Tório-232	Ar	Bq	2,20E-10	3,21E-10	4,18E-10	1,99E-10	2,00E-10	1,96E-10
358	Estanho	Ar	kg	1,25E-07	1,81E-07	2,31E-07	1,14E-07	1,14E-07	1,12E-07
359	Titânio	Ar	kg	1,43E-06	1,43E-06	1,43E-06	1,38E-06	1,38E-06	1,38E-06
360	Tolueno	Ar	kg	1,15E-05	1,30E-05	1,45E-05	1,06E-05	1,07E-05	1,06E-05
361	Tolueno, 2,4-dinitro -	Ar	kg	7,19E-10	7,19E-10	7,19E-10	6,96E-10	6,96E-10	6,96E-10
362	Urânio-238	Ar	Bq	7,30E-10	1,07E-09	1,39E-09	6,62E-10	6,64E-10	6,51E-10
363	Vanádio	Ar	kg	2,50E-06	2,51E-06	2,51E-06	2,42E-06	2,42E-06	2,42E-06
364	Acetato de vinila	Ar	kg	1,95E-08	1,95E-08	1,95E-08	1,89E-08	1,89E-08	1,89E-08
365	VOC, compostos orgânicos voláteis	Ar	kg	4,85E-03	3,92E-03	3,92E-03	5,91E-03	5,91E-03	5,24E-03
366	Água	Ar	kg	2,04E-02	2,11E-02	2,17E-02	1,97E-02	1,97E-02	1,96E-02
367	Xileno	Ar	kg	9,96E-06	1,14E-05	1,27E-05	9,26E-06	9,27E-06	9,21E-06
368	Zinco	Ar	kg	8,79E-05	9,29E-05	9,76E-05	8,40E-05	8,40E-05	8,38E-05
369	1-butanol	Ar	kg	2,50E-11	2,62E-11	2,72E-11	2,13E-11	2,13E-11	2,12E-11

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
370	1-Pentanol	Ar	kg	2,39E-11	2,46E-11	2,52E-11	2,16E-11	2,16E-11	2,16E-11
371	1-penteno	Ar	kg	1,80E-11	1,86E-11	1,90E-11	1,63E-11	1,63E-11	1,63E-11
372	1-propanol	Ar	kg	1,75E-09	1,99E-09	2,21E-09	1,52E-09	1,52E-09	1,52E-09
373	1,4-butanodiol	Ar	kg	3,53E-10	6,64E-10	9,40E-10	3,05E-10	3,08E-10	2,99E-10
374	2-Aminopropanol	Ar	kg	2,02E-11	2,04E-11	2,05E-11	1,72E-11	1,72E-11	1,72E-11
375	2-buteno, 2-metil -	Ar	kg	4,00E-15	4,12E-15	4,22E-15	3,62E-15	3,62E-15	3,62E-15
376	2-metil-1-propanol	Ar	kg	6,17E-11	6,31E-11	6,44E-11	5,47E-11	5,47E-11	5,47E-11
377	Ácido 2-Nitrobenzoic	Ar	kg	3,64E-11	3,66E-11	3,68E-11	3,09E-11	3,09E-11	3,09E-11
378	2-propanol	Ar	kg	5,25E-06	1,10E-05	1,62E-05	4,55E-06	4,61E-06	4,44E-06
379	Acenafteno	Ar	kg	4,05E-11	6,13E-11	8,00E-11	3,64E-11	3,65E-11	3,61E-11
380	Acetaldeído	Ar	kg	3,18E-05	3,51E-05	3,80E-05	2,71E-05	2,71E-05	2,71E-05
381	Ácido acético	Ar	kg	7,81E-05	2,08E-03	3,86E-03	6,78E-05	6,79E-05	6,76E-05
382	Acetona	Ar	kg	1,65E-05	2,59E-05	3,43E-05	1,43E-05	1,43E-05	1,41E-05
383	Acroleína	Ar	kg	6,05E-09	3,02E-08	5,17E-08	5,49E-09	5,49E-09	5,46E-09
384	Ácido acrílico	Ar	kg	1,36E-08	2,85E-08	4,19E-08	1,18E-08	1,19E-08	1,15E-08
385	Aldeídos, não especificados.	Ar	kg	3,61E-07	4,14E-07	4,62E-07	3,49E-07	3,51E-07	3,43E-07
386	Alumínio	Ar	kg	9,07E-05	1,50E-04	2,03E-04	8,21E-05	8,23E-05	8,19E-05
387	Amônia	Ar	kg	1,94E-02	1,94E-02	1,95E-02	1,63E-02	1,63E-02	1,63E-02
388	Carbonato de amônio	Ar	kg	1,47E-07	2,06E-07	2,58E-07	1,25E-07	1,25E-07	1,25E-07
389	Anilina	Ar	kg	1,73E-10	1,77E-10	1,81E-10	1,51E-10	1,51E-10	1,51E-10
390	Ácido antranílico	Ar	kg	2,65E-11	2,67E-11	2,68E-11	2,25E-11	2,25E-11	2,25E-11
391	Antimônio	Ar	kg	2,09E-08	3,49E-08	4,78E-08	1,89E-08	1,90E-08	1,87E-08
392	Arsênio	Ar	kg	1,33E-06	1,62E-06	1,88E-06	1,15E-06	1,15E-06	1,15E-06
393	Arsina	Ar	kg	1,58E-13	3,33E-13	4,88E-13	1,37E-13	1,39E-13	1,34E-13
394	Bário	Ar	kg	1,07E-06	1,77E-06	2,39E-06	9,69E-07	9,70E-07	9,66E-07
395	Benzaldeído	Ar	kg	3,16E-09	1,58E-08	2,70E-08	2,86E-09	2,87E-09	2,85E-09
396	Benzeno	Ar	kg	4,45E-04	4,88E-04	5,26E-04	3,81E-04	3,81E-04	3,80E-04

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
397	Benzeno, 1-metil-2-nitro -	Ar	kg	3,14E-11	3,16E-11	3,18E-11	2,67E-11	2,67E-11	2,67E-11
398	Benzeno, 1,2-dicloro -	Ar	kg	6,74E-10	6,78E-10	6,82E-10	5,74E-10	5,74E-10	5,74E-10
399	Benzeno, etil-	Ar	kg	1,98E-05	2,28E-05	2,55E-05	1,71E-05	1,71E-05	1,71E-05
400	Benzeno, hexacloro-	Ar	kg	3,34E-10	4,03E-10	4,71E-10	2,92E-10	2,93E-10	2,88E-10
401	Benzeno, pentacloro-	Ar	kg	8,33E-10	1,01E-09	1,17E-09	7,28E-10	7,31E-10	7,17E-10
402	Benzo (a) pireno	Ar	kg	1,79E-07	1,81E-07	1,83E-07	1,52E-07	1,52E-07	1,52E-07
403	Berílio	Ar	kg	1,15E-08	1,88E-08	2,54E-08	1,04E-08	1,04E-08	1,04E-08
404	Boro	Ar	kg	4,06E-06	6,72E-06	9,08E-06	3,68E-06	3,69E-06	3,67E-06
405	Trifluoreto de boro	Ar	kg	2,17E-15	4,55E-15	6,68E-15	1,88E-15	1,90E-15	1,83E-15
406	Bromo	Ar	kg	2,13E-05	2,15E-05	2,17E-05	1,80E-05	1,80E-05	1,80E-05
407	Butadieno	Ar	kg	1,54E-11	1,58E-11	1,62E-11	1,39E-11	1,39E-11	1,39E-11
408	Butano	Ar	kg	5,27E-04	7,19E-04	8,91E-04	4,65E-04	4,66E-04	4,62E-04
409	Buteno	Ar	kg	8,35E-06	1,13E-05	1,39E-05	7,44E-06	7,45E-06	7,39E-06
410	Butirolactona	Ar	kg	8,14E-11	1,71E-10	2,51E-10	7,07E-11	7,15E-11	6,90E-11
411	Cádmio	Ar	kg	1,93E-06	2,16E-06	2,36E-06	1,65E-06	1,65E-06	1,64E-06
412	Cálcio	Ar	kg	2,07E-03	2,09E-03	2,11E-03	1,76E-03	1,76E-03	1,76E-03
413	Preto de carbono	Ar	kg	4,90E-03	4,21E-03	4,23E-03	4,67E-03	4,05E-03	4,08E-03
414	Dióxido de carbono	Ar	kg	6,01E+00	4,77E+00	4,41E+00	7,68E+00	7,88E+00	6,48E+00
415	Dióxido de carbono, biogênico	Ar	kg	3,70E+01	3,72E+01	3,75E+01	3,13E+01	3,13E+01	3,13E+01
416	Dióxido de carbono, fóssil	Ar	kg	1,87E+01	2,89E+01	3,80E+01	1,64E+01	1,65E+01	1,62E+01
417	Dissulfeto de carbono	Ar	kg	8,06E-10	8,67E-10	1,07E-09	8,39E-10	8,41E-10	7,95E-10
418	Monóxido de carbono, biogênico	Ar	kg	4,17E-02	4,17E-02	4,18E-02	3,53E-02	3,53E-02	3,53E-02
419	Monóxido de carbono, fóssil	Ar	kg	6,96E-01	7,02E-01	7,01E-01	5,03E-01	5,05E-01	4,99E-01
420	Cloramina	Ar	kg	1,26E-10	1,28E-10	1,31E-10	1,11E-10	1,11E-10	1,11E-10
421	Cloro	Ar	kg	1,78E-04	2,01E-04	2,22E-04	1,65E-04	1,65E-04	1,64E-04
422	Ácido cloroacético	Ar	kg	1,74E-08	1,80E-08	1,86E-08	1,51E-08	1,51E-08	1,50E-08
423	Chloroform	Ar	kg	2,03E-08	3,62E-08	5,13E-08	1,81E-08	1,83E-08	1,76E-08
424	Clorossilano, trimetil-	Ar	kg	4,57E-09	6,56E-09	8,34E-09	4,08E-09	4,10E-09	4,04E-09
425	Ácido clorossulfônico	Ar	kg	2,52E-10	2,53E-10	2,54E-10	2,14E-10	2,14E-10	2,13E-10

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
426	Cromo	Ar	kg	2,66E-06	3,00E-06	3,30E-06	2,31E-06	2,32E-06	2,28E-06
427	Crômio VI	Ar	kg	4,99E-08	6,84E-08	8,50E-08	4,39E-08	4,39E-08	4,38E-08
428	Cobalto	Ar	kg	2,31E-06	2,89E-06	3,41E-06	2,00E-06	2,00E-06	1,99E-06
429	Cobre	Ar	kg	1,43E-05	1,81E-05	2,15E-05	1,23E-05	1,23E-05	1,23E-05
430	Cumeno	Ar	kg	1,02E-05	1,14E-05	1,24E-05	9,90E-06	9,98E-06	9,75E-06
431	Cianeto	Ar	kg	3,81E-07	6,85E-07	9,75E-07	3,52E-07	3,57E-07	3,37E-07
432	Ácido cianoacético	Ar	kg	2,06E-10	2,07E-10	2,08E-10	1,75E-10	1,75E-10	1,75E-10
433	Dietilamina	Ar	kg	8,79E-11	9,00E-11	9,19E-11	7,68E-11	7,68E-11	7,67E-11
434	Malonato de dimetila	Ar	kg	2,58E-10	2,60E-10	2,61E-10	2,19E-10	2,19E-10	2,19E-10
435	Monóxido de dinitrogênio	Ar	kg	3,66E-03	3,75E-03	3,88E-03	2,86E-03	2,84E-03	2,86E-03
436	Dioxina, 2,3,7,8 tetraclorodibenzo-p -	Ar	kg	1,40E-11	1,53E-11	1,65E-11	1,20E-11	1,20E-11	1,19E-11
437	Dipropilamina	Ar	kg	4,41E-11	4,53E-11	4,65E-11	3,88E-11	3,88E-11	3,88E-11
438	Etano	Ar	kg	1,69E-04	2,43E-04	3,10E-04	1,51E-04	1,51E-04	1,50E-04
439	Eteno, 1,1 - difluor-, HFC-152a	Ar	kg	1,38E-08	2,04E-08	2,65E-08	1,25E-08	1,25E-08	1,24E-08
440	Etano, 1,1,1,2 - borrachas tetrafluoro-, HFC-134a	Ar	kg	1,61E-09	3,21E-09	4,80E-09	1,48E-09	1,49E-09	1,40E-09
441	Etano, 1,1,2-tricloro-1,2,2 - trifluoro-, CFC-113	Ar	kg	6,45E-10	1,35E-09	1,99E-09	5,59E-10	5,66E-10	5,46E-10
442	Etano, 1,2-dicloro -	Ar	kg	1,13E-06	1,53E-06	1,89E-06	1,06E-06	1,08E-06	1,04E-06
443	Etano, hexafluoro-, HFC-116	Ar	kg	4,48E-08	9,39E-08	1,38E-07	3,89E-08	3,93E-08	3,79E-08
444	Etanol	Ar	kg	2,03E-05	2,49E-05	2,91E-05	1,76E-05	1,76E-05	1,75E-05
445	Eteno	Ar	kg	4,87E-05	1,11E-03	2,05E-03	4,46E-05	4,48E-05	4,41E-05
446	Eteno, cloro-	Ar	kg	4,92E-07	7,40E-07	9,72E-07	4,53E-07	4,58E-07	4,41E-07
447	Eteno, tetracloro-	Ar	kg	1,37E-11	2,14E-11	2,85E-11	1,23E-11	1,23E-11	1,21E-11
448	Acetato de etila	Ar	kg	2,44E-05	5,12E-05	7,51E-05	2,12E-05	2,14E-05	2,06E-05
449	Etilcelulose	Ar	kg	4,93E-08	1,04E-07	1,52E-07	4,28E-08	4,33E-08	4,17E-08
450	Etilamina	Ar	kg	6,64E-11	6,79E-11	6,93E-11	5,79E-11	5,79E-11	5,79E-11
451	Etileno diamina	Ar	kg	3,11E-10	3,27E-10	3,43E-10	2,97E-10	2,97E-10	2,96E-10
452	Óxido de etileno	Ar	kg	1,41E-07	7,70E-06	1,44E-05	1,35E-07	1,36E-07	1,33E-07
453	Ethyne	Ar	kg	4,24E-06	7,02E-06	9,50E-06	3,84E-06	3,84E-06	3,83E-06
454	Flúor	Ar	kg	1,76E-05	1,77E-05	1,78E-05	1,49E-05	1,49E-05	1,49E-05

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
455	Ácido fluorsilícico	Ar	kg	7,34E-07	1,10E-06	1,43E-06	6,68E-07	6,71E-07	6,61E-07
456	Formaldeído	Ar	kg	3,70E-03	3,71E-03	3,73E-03	3,13E-03	3,13E-03	3,13E-03
457	Formamida	Ar	kg	4,36E-11	4,49E-11	4,61E-11	3,95E-11	3,95E-11	3,94E-11
458	Ácido fórmico	Ar	kg	3,05E-08	6,41E-08	9,41E-08	2,65E-08	2,68E-08	2,58E-08
459	Calor, resíduos	Ar	MJ	7,32E+02	9,23E+02	1,10E+03	6,27E+02	6,28E+02	6,24E+02
460	Heptano	Ar	kg	8,32E-05	1,12E-04	1,39E-04	7,41E-05	7,42E-05	7,37E-05
461	Hexano	Ar	kg	2,35E-04	3,18E-04	3,93E-04	2,09E-04	2,09E-04	2,07E-04
462	Alcanos alifáticos, de hidrocarbonetos, cíclicos	Ar	kg	1,50E-07	1,67E-07	1,83E-07	1,89E-07	2,14E-07	1,42E-07
463	Hidrocarbonetos alifáticos, alcanos, não especificados.	Ar	kg	3,98E-04	1,95E-03	3,32E-03	3,38E-04	3,38E-04	3,38E-04
464	Hidrocarbonetos alifáticos, insaturados	Ar	kg	1,10E-03	1,11E-03	1,12E-03	9,33E-04	9,33E-04	9,33E-04
465	Hidrocarbonetos, aromáticos	Ar	kg	1,37E-05	7,77E-05	1,35E-04	1,63E-05	1,86E-05	1,18E-05
466	Hidrocarbonetos clorados	Ar	kg	1,45E-07	2,36E-07	3,20E-07	1,34E-07	1,39E-07	1,25E-07
467	Hidrocarbonetos, não especificados.	Ar	kg	9,76E-02	9,78E-02	9,70E-02	7,02E-02	7,04E-02	6,96E-02
468	Hidrogênio	Ar	kg	8,27E-05	6,52E-04	1,16E-03	8,76E-05	9,40E-05	7,48E-05
469	Cloreto de hidrogênio	Ar	kg	4,20E-04	7,36E-04	1,02E-03	3,78E-04	3,79E-04	3,75E-04
470	Fluoreto de hidrogênio	Ar	kg	1,87E-05	2,83E-05	3,69E-05	1,66E-05	1,66E-05	1,64E-05
471	Peróxido de hidrogênio	Ar	kg	3,65E-08	7,68E-08	1,13E-07	3,17E-08	3,21E-08	3,09E-08
472	Sulfeto de hidrogênio	Ar	kg	1,11E-07	1,33E-07	1,54E-07	1,02E-07	1,02E-07	1,01E-07
473	Iodo	Ar	kg	9,64E-08	1,59E-07	2,15E-07	8,74E-08	8,75E-08	8,71E-08
474	Ferro	Ar	kg	4,72E-05	7,31E-05	9,62E-05	4,22E-05	4,23E-05	4,21E-05
475	Ácido isociânico	Ar	kg	1,18E-02	1,18E-02	1,18E-02	1,00E-02	1,00E-02	1,00E-02
476	Isopropilamina	Ar	kg	2,71E-11	2,75E-11	2,78E-11	2,31E-11	2,31E-11	2,31E-11
477	Ácido láctico	Ar	kg	3,45E-11	3,55E-11	3,64E-11	3,04E-11	3,04E-11	3,04E-11
478	Chumbo	Ar	kg	1,30E-05	1,43E-05	1,56E-05	1,11E-05	1,11E-05	1,11E-05
479	Chumbo-210	Ar	Bq	3,93E-01	6,50E-01	8,79E-01	3,56E-01	3,57E-01	3,55E-01
480	m-xileno	Ar	kg	4,22E-05	4,25E-05	4,27E-05	3,58E-05	3,58E-05	3,58E-05
481	Magnésio	Ar	kg	1,59E-04	1,81E-04	2,00E-04	1,36E-04	1,36E-04	1,36E-04
482	Manganês	Ar	kg	6,02E-05	6,08E-05	6,13E-05	5,10E-05	5,10E-05	5,10E-05

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
483	Mercúrio	Ar	kg	2,34E-07	1,01E-06	1,70E-06	2,29E-07	2,40E-07	2,07E-07
484	Metano biogênico	Ar	kg	1,93E-03	1,99E-03	2,03E-03	1,64E-03	1,64E-03	1,64E-03
485	Metano, bromotrifluoro-, Halon 1301	Ar	kg	1,03E-13	1,31E-13	1,57E-13	9,12E-14	9,14E-14	9,05E-14
486	Metano, chlorodifluoro-, HCFC-22	Ar	kg	2,58E-08	4,95E-08	7,27E-08	2,36E-08	2,38E-08	2,25E-08
487	Metano, dicloro-, HCC-30	Ar	kg	1,30E-09	1,89E-09	2,46E-09	1,17E-09	1,18E-09	1,14E-09
488	Metano, dichlorodifluoro-, CFC-12	Ar	kg	3,99E-09	5,85E-09	7,59E-09	3,70E-09	3,85E-09	3,39E-09
489	Metano, dichlorofluoro-, HCFC-21	Ar	kg	4,58E-12	9,14E-12	1,36E-11	4,21E-12	4,25E-12	4,00E-12
490	Metano, fóssil	Ar	kg	4,86E-03	2,32E-02	3,94E-02	5,16E-03	5,65E-03	4,22E-03
491	Metano, monocloro-, R-40	Ar	kg	7,42E-11	1,10E-10	1,42E-10	6,64E-11	6,67E-11	6,56E-11
492	Metano, tetracloro-, CFC-10	Ar	kg	1,45E-07	1,34E-06	2,41E-06	1,40E-07	1,40E-07	1,39E-07
493	Metano, borrachas tetrafluoro-, CFC-14	Ar	kg	7,12E-10	1,05E-09	1,36E-09	6,43E-10	6,45E-10	6,36E-10
494	Metano, trichlorofluoro-, CFC-11	Ar	kg	7,43E-12	1,48E-11	2,21E-11	6,83E-12	6,90E-12	6,49E-12
495	Metano, trifluoro-, HFC-23	Ar	kg	1,46E-09	2,91E-09	4,34E-09	1,34E-09	1,35E-09	1,27E-09
496	Ácido metanossulfônico	Ar	kg	2,08E-10	2,09E-10	2,10E-10	1,77E-10	1,77E-10	1,77E-10
497	Metanol	Ar	kg	6,71E-05	7,35E-05	7,94E-05	5,67E-05	5,67E-05	5,67E-05
498	Acetato de metila	Ar	kg	8,43E-12	8,48E-12	8,52E-12	7,15E-12	7,15E-12	7,15E-12
499	Acrilato de metila	Ar	kg	1,54E-08	3,24E-08	4,75E-08	1,34E-08	1,35E-08	1,30E-08
500	Amina de metilo	Ar	kg	9,98E-11	1,33E-10	1,62E-10	8,53E-11	8,56E-11	8,47E-11
501	Borato de metila	Ar	kg	1,03E-11	1,06E-11	1,08E-11	9,24E-12	9,24E-12	9,23E-12
502	Metil etil cetona	Ar	kg	2,44E-05	5,12E-05	7,51E-05	2,12E-05	2,14E-05	2,06E-05
503	Metanoato de metila	Ar	kg	7,13E-11	1,37E-10	1,96E-10	6,23E-11	6,29E-11	6,10E-11
504	Lactato de metila	Ar	kg	3,79E-11	3,90E-11	4,00E-11	3,34E-11	3,34E-11	3,33E-11
505	Molibdênio	Ar	kg	9,73E-07	1,17E-06	1,35E-06	8,36E-07	8,37E-07	8,34E-07
506	Monoetanolamina	Ar	kg	7,59E-07	1,47E-06	2,10E-06	6,64E-07	6,70E-07	6,50E-07
507	Níquel	Ar	kg	3,78E-05	4,36E-05	4,88E-05	3,24E-05	3,24E-05	3,23E-05
508	Nitrato	Ar	kg	5,98E-07	6,18E-07	6,36E-07	5,75E-07	5,76E-07	5,75E-07
509	Nitrobenzeno	Ar	kg	2,63E-10	2,69E-10	2,74E-10	2,29E-10	2,29E-10	2,29E-10
510	Nitrogênio	Ar	kg	4,17E-02	4,08E-02	4,13E-02	3,05E-02	2,97E-02	3,02E-02
511	Óxidos de azoto	Ar	kg	6,93E-01	7,06E-01	7,11E-01	5,07E-01	5,09E-01	5,04E-01

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
512	COV não-metano, os compostos orgânicos voláteis não metânicos, de origem não-especificada	Ar	kg	1,32E-03	5,00E-03	8,29E-03	1,32E-03	1,42E-03	1,14E-03
513	Ozônio	Ar	kg	3,36E-06	4,97E-07	5,98E-06	6,98E-06	6,98E-06	4,87E-06
514	PAH, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	Ar	kg	6,11E-06	6,95E-06	7,69E-06	5,20E-06	5,20E-06	5,20E-06
515	Partículas, < 2.5 um	Ar	kg	2,95E-02	3,03E-02	3,12E-02	2,35E-02	2,34E-02	2,35E-02
516	Partículas, > 10um	Ar	kg	6,42E-02	6,41E-02	6,54E-02	4,65E-02	4,59E-02	4,66E-02
517	Partículas, > 2.5, e < 10um	Ar	kg	4,79E-02	4,80E-02	4,91E-02	3,46E-02	3,41E-02	3,47E-02
518	Partículas, fuligem de diesel	Ar	kg	2,00E-02	2,00E-02	1,99E-02	1,44E-02	1,44E-02	1,43E-02
519	Pentano	Ar	kg	7,54E-04	1,02E-03	1,27E-03	6,63E-04	6,64E-04	6,60E-04
520	Fenol	Ar	kg	1,96E-07	3,54E-07	4,96E-07	1,77E-07	1,78E-07	1,73E-07
521	Fenol, 2,4-dicloro -	Ar	kg	3,69E-11	3,74E-11	3,78E-11	3,14E-11	3,14E-11	3,13E-11
522	Fenol, pentacloro-	Ar	kg	2,94E-09	2,98E-09	3,01E-09	2,49E-09	2,49E-09	2,49E-09
523	Fosfina	Ar	kg	1,17E-11	2,47E-11	3,62E-11	1,02E-11	1,03E-11	9,94E-12
524	Fósforo	Ar	kg	1,06E-04	1,07E-04	1,08E-04	8,99E-05	9,00E-05	8,99E-05
525	Platina	Ar	kg	5,10E-13	5,83E-13	7,14E-13	4,81E-13	4,81E-13	4,62E-13
526	Polônio-210	Ar	Bq	7,19E-01	1,19E+00	1,61E+00	6,51E-01	6,52E-01	6,50E-01
527	Bifenilos policlorados	Ar	kg	4,95E-13	1,04E-12	1,53E-12	4,29E-13	4,35E-13	4,19E-13
528	Potássio	Ar	kg	8,25E-03	8,30E-03	8,35E-03	6,98E-03	6,98E-03	6,98E-03
529	Potássio-40	Ar	Bq	1,14E-01	1,89E-01	2,55E-01	1,03E-01	1,04E-01	1,03E-01
530	Propanal	Ar	kg	4,08E-09	1,68E-08	2,82E-08	3,67E-09	3,68E-09	3,65E-09
531	Propano	Ar	kg	4,32E-04	5,92E-04	7,36E-04	3,84E-04	3,84E-04	3,82E-04
532	Propeno	Ar	kg	2,53E-05	3,31E-04	6,02E-04	2,32E-05	2,34E-05	2,28E-05
533	Ácido propiônico	Ar	kg	4,29E-06	5,87E-06	7,29E-06	3,68E-06	3,68E-06	3,67E-06
534	Propilamina	Ar	kg	1,38E-11	1,42E-11	1,46E-11	1,25E-11	1,25E-11	1,25E-11
535	Óxido de propileno	Ar	kg	4,06E-07	6,02E-07	7,77E-07	3,54E-07	3,55E-07	3,50E-07
536	Espécie radioativa, outros emissores beta	Ar	Bq	3,49E+00	4,42E+00	5,30E+00	3,08E+00	3,08E+00	3,05E+00
537	Rádio-226	Ar	Bq	1,01E-01	1,68E-01	2,27E-01	9,20E-02	9,21E-02	9,17E-02
538	Rádio-228	Ar	Bq	5,50E-01	9,09E-01	1,23E+00	4,98E-01	4,99E-01	4,97E-01



(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
539	Radão-220	Ar	Bq	8,46E-03	1,40E-02	1,89E-02	7,67E-03	7,68E-03	7,65E-03
540	Radônio-222	Ar	Bq	8,46E-03	1,40E-02	1,89E-02	7,67E-03	7,68E-03	7,65E-03
541	Escândio	Ar	kg	1,07E-08	1,76E-08	2,38E-08	9,65E-09	9,67E-09	9,63E-09
542	Selênio	Ar	kg	7,71E-07	9,45E-07	1,10E-06	6,64E-07	6,65E-07	6,63E-07
543	Silício	Ar	kg	1,35E-04	2,24E-04	3,03E-04	1,22E-04	1,23E-04	1,22E-04
544	Prata	Ar	kg	2,23E-09	3,28E-09	4,26E-09	2,01E-09	2,02E-09	1,99E-09
545	Sódio	Ar	kg	5,04E-04	5,17E-04	5,29E-04	4,28E-04	4,28E-04	4,27E-04
546	Clorato de sódio	Ar	kg	2,24E-08	3,76E-08	5,14E-08	1,99E-08	2,00E-08	1,95E-08
547	Dicromato de sódio	Ar	kg	5,65E-08	7,87E-08	1,02E-07	8,01E-08	9,51E-08	5,02E-08
548	Formiato de sódio	Ar	kg	2,45E-09	6,22E-09	9,56E-09	2,29E-09	2,30E-09	2,27E-09
549	Hidróxido de sódio	Ar	kg	1,36E-07	2,86E-07	4,20E-07	1,18E-07	1,20E-07	1,15E-07
550	Estrôncio	Ar	kg	1,61E-06	2,66E-06	3,59E-06	1,46E-06	1,46E-06	1,45E-06
551	Estireno	Ar	kg	1,38E-07	1,76E-07	2,10E-07	1,24E-07	1,25E-07	1,21E-07
552	Sulfato de sódio	Ar	kg	6,49E-04	7,21E-04	8,03E-04	6,29E-04	6,30E-04	6,22E-04
553	Dióxido de enxofre	Ar	kg	2,06E-02	3,48E-02	4,75E-02	1,87E-02	1,89E-02	1,84E-02
554	Trióxido de enxofre	Ar	kg	2,28E-09	2,33E-09	2,38E-09	1,99E-09	1,99E-09	1,98E-09
555	Ácido sulfúrico	Ar	kg	2,85E-08	6,00E-08	8,79E-08	2,48E-08	2,51E-08	2,42E-08
556	t-butil-éter metil	Ar	kg	1,97E-06	1,97E-06	1,98E-06	1,67E-06	1,67E-06	1,67E-06
557	t-Butilamina	Ar	kg	1,59E-10	1,60E-10	1,61E-10	1,35E-10	1,35E-10	1,35E-10
558	Tálio	Ar	kg	1,34E-08	2,21E-08	2,99E-08	1,21E-08	1,22E-08	1,21E-08
559	Tório	Ar	kg	1,61E-08	2,66E-08	3,59E-08	1,46E-08	1,46E-08	1,45E-08
560	Tório-228	Ar	Bq	4,65E-02	7,69E-02	1,04E-01	4,21E-02	4,22E-02	4,20E-02
561	Tório-232	Ar	Bq	2,96E-02	4,89E-02	6,61E-02	2,68E-02	2,69E-02	2,67E-02
562	Estanho	Ar	kg	1,19E-08	7,34E-08	1,28E-07	1,08E-08	1,09E-08	1,06E-08
563	Titânio	Ar	kg	3,28E-06	5,40E-06	7,29E-06	2,97E-06	2,98E-06	2,96E-06
564	Tolueno	Ar	kg	1,97E-04	2,28E-04	2,56E-04	1,69E-04	1,69E-04	1,69E-04
565	Tolueno, 2-cloro -	Ar	kg	1,20E-10	1,22E-10	1,24E-10	1,03E-10	1,03E-10	1,03E-10
566	Trimetilamina	Ar	kg	1,49E-11	1,50E-11	1,51E-11	1,27E-11	1,27E-11	1,27E-11
567	Urânio	Ar	kg	2,14E-08	3,54E-08	4,78E-08	1,94E-08	1,94E-08	1,93E-08

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
568	Urânio-238	Ar	Bq	8,46E-02	1,40E-01	1,89E-01	7,66E-02	7,67E-02	7,64E-02
569	Vanádio	Ar	kg	1,37E-04	1,56E-04	1,74E-04	1,17E-04	1,17E-04	1,16E-04
570	Água	Ar	kg	6,15E-02	6,04E-02	6,11E-02	4,47E-02	4,37E-02	4,45E-02
571	Xileno	Ar	kg	3,91E-05	5,18E-05	6,33E-05	3,47E-05	3,47E-05	3,45E-05
572	Zinco	Ar	kg	1,11E-04	1,15E-04	1,18E-04	9,39E-05	9,39E-05	9,38E-05
573	Acenafteno	Ar	kg	1,25E-12	1,84E-12	2,40E-12	1,13E-12	1,14E-12	1,12E-12
574	Acetaldeído	Ar	kg	3,32E-08	4,30E-08	5,18E-08	2,97E-08	2,97E-08	2,95E-08
575	Ácido acético	Ar	kg	2,18E-07	2,82E-07	3,40E-07	1,95E-07	1,95E-07	1,94E-07
576	Acetona	Ar	kg	1,48E-06	2,23E-06	2,91E-06	1,33E-06	1,33E-06	1,32E-06
577	Acetonitrilo	Ar	kg	9,12E-09	1,18E-08	1,42E-08	8,15E-09	8,16E-09	8,12E-09
578	Acroleína	Ar	kg	2,50E-09	3,75E-09	4,89E-09	2,25E-09	2,26E-09	2,23E-09
579	Actinides, radioativos, não especificados	Ar	Bq	5,08E-03	7,48E-03	9,76E-03	4,60E-03	4,62E-03	4,53E-03
580	Aerossóis, radioativos, não especificados	Ar	Bq	1,09E-01	1,63E-01	2,12E-01	9,86E-02	9,89E-02	9,76E-02
581	Aldeídos, não especificados.	Ar	kg	2,15E-07	3,13E-07	4,05E-07	1,95E-07	1,96E-07	1,92E-07
582	Alumínio	Ar	kg	3,89E-04	3,91E-04	3,92E-04	3,76E-04	3,76E-04	3,76E-04
583	Amônia	Ar	kg	7,34E-04	8,34E-04	9,23E-04	6,98E-04	6,98E-04	6,98E-04
584	Antimônio	Ar	kg	7,62E-07	1,32E-06	1,83E-06	6,79E-07	6,84E-07	6,68E-07
585	Antimônio-124	Ar	Bq	1,63E-06	1,84E-06	2,25E-06	1,54E-06	1,54E-06	1,48E-06
586	Antimônio-125	Ar	Bq	1,70E-05	1,92E-05	2,35E-05	1,61E-05	1,61E-05	1,54E-05
587	Argônio-41	Ar	Bq	5,57E+01	8,39E+01	1,09E+02	5,02E+01	5,03E+01	4,97E+01
588	Arsênio	Ar	kg	6,03E-06	1,00E-05	1,36E-05	5,42E-06	5,46E-06	5,34E-06
589	Bário	Ar	kg	6,71E-06	7,82E-06	8,82E-06	6,34E-06	6,34E-06	6,32E-06
590	Bário-140	Ar	Bq	1,11E-03	1,25E-03	1,53E-03	1,05E-03	1,05E-03	1,00E-03
591	Benzeno	Ar	kg	2,93E-04	3,33E-04	3,69E-04	2,79E-04	2,79E-04	2,78E-04
592	Benzeno, etil-	Ar	kg	2,31E-10	3,39E-10	4,43E-10	2,09E-10	2,10E-10	2,06E-10
593	Benzo (a) pireno	Ar	kg	1,44E-06	1,58E-06	1,71E-06	1,38E-06	1,38E-06	1,37E-06
594	Berílio	Ar	kg	5,36E-08	5,64E-08	5,89E-08	5,15E-08	5,16E-08	5,15E-08
595	Boro	Ar	kg	1,53E-04	2,31E-04	3,02E-04	1,38E-04	1,38E-04	1,37E-04
596	Bromo	Ar	kg	1,68E-05	2,54E-05	3,31E-05	1,51E-05	1,52E-05	1,50E-05

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
597	Butadieno	Ar	kg	7,41E-12	1,55E-11	2,26E-11	6,44E-12	6,51E-12	6,28E-12
598	Butano	Ar	kg	7,23E-05	9,94E-05	1,24E-04	6,26E-05	6,26E-05	6,24E-05
599	Cádmio	Ar	kg	1,72E-06	2,92E-06	4,00E-06	1,54E-06	1,55E-06	1,51E-06
600	Cálcio	Ar	kg	4,76E-05	4,77E-05	4,79E-05	4,57E-05	4,57E-05	4,57E-05
601	Carbono-14	Ar	Bq	4,82E+02	6,98E+02	9,03E+02	4,37E+02	4,38E+02	4,31E+02
602	Dióxido de carbono, biogênico	Ar	kg	8,21E-02	1,14E-01	1,58E-01	8,07E-02	8,09E-02	7,65E-02
603	Dióxido de carbono, fóssil	Ar	kg	2,17E+01	2,85E+01	3,46E+01	2,01E+01	2,01E+01	2,00E+01
604	Dióxido de carbono, a transformação da terra	Ar	kg	1,32E-03	1,99E-03	2,58E-03	1,19E-03	1,19E-03	1,18E-03
605	Dissulfeto de carbono	Ar	kg	1,25E-04	2,09E-04	2,85E-04	1,10E-04	1,11E-04	1,09E-04
606	Monóxido de carbono, biogênico	Ar	kg	4,59E-04	1,49E-04	8,28E-04	8,83E-04	8,83E-04	6,31E-04
607	Monóxido de carbono, fóssil	Ar	kg	1,05E-01	1,11E-01	1,16E-01	9,50E-02	9,50E-02	9,50E-02
608	Cério-141	Ar	Bq	2,69E-04	3,03E-04	3,70E-04	2,54E-04	2,54E-04	2,44E-04
609	Césio-134	Ar	Bq	1,29E-05	1,45E-05	1,77E-05	1,21E-05	1,22E-05	1,17E-05
610	Césio-137	Ar	Bq	2,28E-04	2,58E-04	3,14E-04	2,15E-04	2,15E-04	2,07E-04
611	Cloro	Ar	kg	6,34E-08	9,22E-08	1,20E-07	5,74E-08	5,75E-08	5,66E-08
612	Clorofórmio	Ar	kg	2,41E-10	3,54E-10	4,62E-10	2,18E-10	2,18E-10	2,14E-10
613	Cromo	Ar	kg	4,57E-05	7,90E-05	1,09E-04	4,04E-05	4,07E-05	3,97E-05
614	Cromo-51	Ar	Bq	1,72E-05	1,94E-05	2,37E-05	1,62E-05	1,63E-05	1,56E-05
615	Crômio VI	Ar	kg	1,15E-06	1,99E-06	2,74E-06	1,01E-06	1,02E-06	9,96E-07
616	Cobalto	Ar	kg	2,78E-06	3,28E-06	3,73E-06	2,39E-06	2,40E-06	2,38E-06
617	Cobalto-58	Ar	Bq	2,40E-05	2,71E-05	3,30E-05	2,26E-05	2,26E-05	2,17E-05
618	Cobalto-60	Ar	Bq	2,12E-04	2,39E-04	2,92E-04	2,00E-04	2,00E-04	1,92E-04
619	Cobre	Ar	kg	1,84E-05	3,12E-05	4,26E-05	1,64E-05	1,65E-05	1,62E-05
620	Cumeno	Ar	kg	1,34E-11	1,97E-11	2,57E-11	1,21E-11	1,21E-11	1,19E-11
621	Cianeto	Ar	kg	6,30E-07	1,06E-06	1,45E-06	5,58E-07	5,62E-07	5,50E-07
622	Monóxido de dinitrogênio	Ar	kg	3,86E-04	5,05E-04	6,11E-04	3,51E-04	3,51E-04	3,49E-04
623	Dioxina, 2,3,7,8 tetraclorodibenzo-p -	Ar	kg	2,80E-12	3,94E-12	4,98E-12	2,58E-12	2,59E-12	2,56E-12
624	Etano	Ar	kg	1,72E-03	2,22E-03	2,70E-03	1,53E-03	1,54E-03	1,52E-03
625	Etano, 1, 1,1 - Tricloro-, HCFC-140	Ar	kg	4,91E-11	7,22E-11	9,42E-11	4,44E-11	4,46E-11	4,38E-11

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
626	Etano, 1,1,1,2 - borrachas tetrafluoro-, HFC-134a	Ar	kg	1,15E-08	1,65E-08	2,14E-08	1,04E-08	1,04E-08	1,03E-08
627	Etano, 1,2-dicloro -	Ar	kg	9,80E-11	1,44E-10	1,88E-10	8,88E-11	8,91E-11	8,74E-11
628	Etano, 1,2-dicloro-1,1,2,2 - borrachas tetrafluoro-, CFC-114	Ar	kg	2,03E-07	2,90E-07	3,74E-07	1,84E-07	1,85E-07	1,81E-07
629	Etanol	Ar	kg	5,97E-08	8,60E-08	1,11E-07	5,42E-08	5,43E-08	5,34E-08
630	Eteno	Ar	kg	1,07E-03	1,07E-03	1,08E-03	1,04E-03	1,04E-03	1,04E-03
631	Eteno, tetracloro-	Ar	kg	1,05E-10	1,55E-10	2,02E-10	9,55E-11	9,58E-11	9,40E-11
632	Óxido de etileno	Ar	kg	7,17E-11	1,50E-10	2,19E-10	6,22E-11	6,30E-11	6,07E-11
633	Ethyne	Ar	kg	3,45E-05	3,46E-05	3,47E-05	3,34E-05	3,34E-05	3,34E-05
634	Flúor	Ar	kg	6,60E-07	1,14E-06	1,58E-06	5,86E-07	5,91E-07	5,77E-07
635	Formaldeído	Ar	kg	7,39E-06	1,10E-05	1,43E-05	6,64E-06	6,66E-06	6,58E-06
636	Ácido fórmico	Ar	kg	6,10E-08	7,90E-08	9,52E-08	5,45E-08	5,46E-08	5,43E-08
637	Furano	Ar	kg	1,73E-08	2,24E-08	2,70E-08	1,55E-08	1,55E-08	1,54E-08
638	Calor, resíduos	Ar	MJ	2,07E+02	3,00E+02	3,86E+02	1,87E+02	1,88E+02	1,86E+02
639	Hélio	Ar	kg	2,07E-05	2,74E-05	3,35E-05	1,87E-05	1,87E-05	1,86E-05
640	Hexano	Ar	kg	4,60E-06	6,68E-06	8,65E-06	4,17E-06	4,18E-06	4,11E-06
641	Alcanos alifáticos, de hidrocarbonetos, cíclicos	Ar	kg	1,42E-09	2,09E-09	2,73E-09	1,29E-09	1,29E-09	1,27E-09
642	Hidrocarbonetos alifáticos, alcanos, não especificados.	Ar	kg	9,56E-05	1,34E-04	1,69E-04	8,32E-05	8,33E-05	8,29E-05
643	Hidrocarbonetos alifáticos, insaturados	Ar	kg	5,70E-05	6,86E-05	7,90E-05	5,35E-05	5,36E-05	5,34E-05
644	Hidrocarbonetos, aromáticos	Ar	kg	3,80E-05	5,21E-05	6,47E-05	3,27E-05	3,28E-05	3,27E-05
645	Hidrocarbonetos clorados	Ar	kg	4,98E-10	7,32E-10	9,56E-10	4,51E-10	4,52E-10	4,44E-10
646	3-hidrogênio, trítio	Ar	Bq	2,64E+03	3,89E+03	5,06E+03	2,38E+03	2,39E+03	2,36E+03
647	Cloreto de hidrogênio	Ar	kg	1,05E-03	1,57E-03	2,04E-03	9,52E-04	9,55E-04	9,45E-04
648	Fluoreto de hidrogênio	Ar	kg	2,22E-04	3,34E-04	4,34E-04	2,00E-04	2,01E-04	1,99E-04
649	Sulfeto de hidrogênio	Ar	kg	1,14E-03	1,21E-03	1,27E-03	1,09E-03	1,09E-03	1,09E-03
650	Iodo	Ar	kg	8,98E-06	1,36E-05	1,77E-05	8,07E-06	8,09E-06	8,01E-06
651	Iodo-129	Ar	Bq	4,66E-01	6,85E-01	8,90E-01	4,21E-01	4,22E-01	4,16E-01
652	Iodo-131	Ar	Bq	2,19E+01	3,30E+01	4,31E+01	1,97E+01	1,98E+01	1,96E+01

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
653	Iodo-133	Ar	Bq	1,93E-03	2,38E-03	2,98E-03	1,80E-03	1,80E-03	1,74E-03
654	Iodo-135	Ar	Bq	1,32E-03	1,92E-03	2,50E-03	1,19E-03	1,20E-03	1,18E-03
655	Ferro	Ar	kg	1,60E-04	1,60E-04	1,61E-04	1,54E-04	1,54E-04	1,54E-04
656	Isopreno	Ar	kg	8,04E-10	1,04E-09	1,25E-09	7,18E-10	7,19E-10	7,15E-10
657	Krypton-85	Ar	Bq	1,75E+02	2,63E+02	3,43E+02	1,58E+02	1,58E+02	1,56E+02
658	Krypton - 85m	Ar	Bq	1,87E+01	2,22E+01	2,74E+01	1,75E+01	1,76E+01	1,69E+01
659	Krypton-87	Ar	Bq	5,65E+00	7,18E+00	9,03E+00	5,24E+00	5,25E+00	5,09E+00
660	Krypton-88	Ar	Bq	6,33E+00	7,78E+00	9,70E+00	5,90E+00	5,91E+00	5,72E+00
661	Krypton-89	Ar	Bq	2,13E+00	2,46E+00	3,02E+00	2,01E+00	2,01E+00	1,93E+00
662	Lantânio-140	Ar	Bq	9,48E-05	1,07E-04	1,31E-04	8,94E-05	8,95E-05	8,59E-05
663	Chumbo	Ar	kg	2,33E-05	3,49E-05	4,53E-05	2,06E-05	2,07E-05	2,04E-05
664	Chumbo-210	Ar	Bq	2,34E+00	3,52E+00	4,59E+00	2,11E+00	2,12E+00	2,09E+00
665	Magnésio	Ar	kg	1,40E-04	1,40E-04	1,41E-04	1,35E-04	1,35E-04	1,35E-04
666	Manganês	Ar	kg	4,44E-06	6,43E-06	8,22E-06	4,07E-06	4,09E-06	4,03E-06
667	Manganês-54	Ar	Bq	8,82E-06	9,96E-06	1,22E-05	8,32E-06	8,33E-06	7,99E-06
668	Mercúrio	Ar	kg	6,25E-07	9,27E-07	1,20E-06	5,64E-07	5,66E-07	5,59E-07
669	Metano biogênico	Ar	kg	3,37E-04	3,84E-04	6,31E-04	4,02E-04	4,03E-04	3,47E-04
670	Metano, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	Ar	kg	3,78E-07	5,19E-07	6,44E-07	3,26E-07	3,26E-07	3,25E-07
671	Metano, bromotrifluoro-, Halon 1301	Ar	kg	2,31E-07	3,10E-07	3,82E-07	2,06E-07	2,06E-07	2,05E-07
672	Metano, chlorodifluoro-, HCFC-22	Ar	kg	1,41E-06	1,94E-06	2,43E-06	1,22E-06	1,22E-06	1,21E-06
673	Metano, dicloro-, HCC-30	Ar	kg	7,12E-10	1,05E-09	1,37E-09	6,45E-10	6,47E-10	6,35E-10
674	Metano, dichlorodifluoro-, CFC-12	Ar	kg	1,30E-09	1,78E-09	2,21E-09	1,12E-09	1,12E-09	1,12E-09
675	Metano, fóssil	Ar	kg	3,21E-01	3,51E-01	3,79E-01	3,04E-01	3,04E-01	3,03E-01
676	Metano, monocloro-, R-40	Ar	kg	1,30E-09	1,91E-09	2,50E-09	1,18E-09	1,18E-09	1,16E-09
677	Metanol	Ar	kg	6,70E-04	9,36E-04	1,17E-03	5,68E-04	5,68E-04	5,68E-04
678	Molibdênio	Ar	kg	2,01E-07	2,69E-07	3,31E-07	1,85E-07	1,85E-07	1,84E-07
679	Níquel	Ar	kg	3,82E-05	5,00E-05	6,05E-05	3,60E-05	3,60E-05	3,58E-05
680	Nióbio-95	Ar	Bq	1,05E-06	1,18E-06	1,44E-06	9,88E-07	9,89E-07	9,49E-07
681	Nitrato	Ar	kg	6,54E-07	9,49E-07	1,23E-06	5,92E-07	5,94E-07	5,84E-07

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
682	Óxidos de azoto	Ar	kg	1,10E-01	1,32E-01	1,51E-01	1,05E-01	1,05E-01	1,04E-01
683	COV não-metano, os compostos orgânicos voláteis não metânicos, de origem não-especificada	Ar	kg	3,82E-02	4,31E-02	4,74E-02	3,35E-02	3,35E-02	3,35E-02
684	Gases nobres, radioativos, não especificados	Ar	Bq	4,48E+06	6,58E+06	8,55E+06	4,05E+06	4,06E+06	4,00E+06
685	Ozônio	Ar	kg	4,59E-09	9,42E-09	1,37E-08	3,99E-09	4,04E-09	3,90E-09
686	PAH, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	Ar	kg	2,70E-06	3,20E-06	3,64E-06	2,58E-06	2,58E-06	2,58E-06
687	Partículas, < 2.5um	Ar	kg	4,44E-02	4,71E-02	4,94E-02	4,26E-02	4,26E-02	4,26E-02
688	Partículas, > 10um	Ar	kg	3,98E-01	4,05E-01	4,12E-01	3,84E-01	3,84E-01	3,84E-01
689	Partículas, > 2.5, e < 10um	Ar	kg	2,63E-01	2,65E-01	2,66E-01	2,55E-01	2,55E-01	2,54E-01
690	Pentano	Ar	kg	1,53E-05	2,31E-05	3,02E-05	1,37E-05	1,38E-05	1,36E-05
691	Fenol	Ar	kg	1,31E-06	1,83E-06	2,30E-06	1,17E-06	1,18E-06	1,16E-06
692	Fenol, pentacloro-	Ar	kg	1,18E-07	1,78E-07	2,32E-07	1,06E-07	1,06E-07	1,05E-07
693	Fósforo	Ar	kg	2,30E-06	2,31E-06	2,33E-06	2,22E-06	2,22E-06	2,22E-06
694	Platina	Ar	kg	6,31E-12	9,36E-12	1,22E-11	5,69E-12	5,70E-12	5,63E-12
695	Plutônio-238	Ar	Bq	6,36E-08	9,35E-08	1,21E-07	5,74E-08	5,76E-08	5,68E-08
696	Plutônio-alfa	Ar	Bq	1,46E-07	2,14E-07	2,78E-07	1,32E-07	1,32E-07	1,30E-07
697	Polônio-210	Ar	Bq	4,12E+00	6,19E+00	8,07E+00	3,70E+00	3,71E+00	3,67E+00
698	Potássio	Ar	kg	4,57E-05	4,59E-05	4,60E-05	4,42E-05	4,42E-05	4,42E-05
699	Potássio-40	Ar	Bq	5,12E-01	7,75E-01	1,01E+00	4,60E-01	4,61E-01	4,56E-01
700	Propano	Ar	kg	5,64E-04	7,11E-04	8,42E-04	5,05E-04	5,05E-04	5,04E-04
701	Propeno	Ar	kg	7,10E-05	7,20E-05	7,30E-05	6,84E-05	6,84E-05	6,84E-05
702	Protactínio-234	Ar	Bq	6,57E-02	9,53E-02	1,23E-01	5,95E-02	5,96E-02	5,87E-02
703	Espécie radioativa, outros emissores beta	Ar	Bq	2,59E-03	3,88E-03	5,06E-03	2,33E-03	2,34E-03	2,31E-03
704	Rádio-226	Ar	Bq	2,72E+00	3,97E+00	5,15E+00	2,46E+00	2,47E+00	2,43E+00
705	Rádio-228	Ar	Bq	1,94E-01	2,94E-01	3,84E-01	1,74E-01	1,75E-01	1,73E-01
706	Radão-220	Ar	Bq	2,35E+01	3,56E+01	4,64E+01	2,11E+01	2,12E+01	2,10E+01
707	Radônio-222	Ar	Bq	2,03E+05	2,94E+05	3,81E+05	1,84E+05	1,84E+05	1,81E+05
708	Rutênio-103	Ar	Bq	2,30E-07	2,60E-07	3,17E-07	2,17E-07	2,17E-07	2,08E-07

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
709	Escândio	Ar	kg	9,14E-08	9,23E-08	9,31E-08	8,82E-08	8,82E-08	8,82E-08
710	Selênio	Ar	kg	2,12E-06	3,18E-06	4,14E-06	1,93E-06	1,94E-06	1,91E-06
711	Silício	Ar	kg	5,70E-04	5,73E-04	5,76E-04	5,50E-04	5,50E-04	5,50E-04
712	Tetrafluoreto de silício	Ar	kg	7,68E-09	8,88E-09	9,95E-09	7,29E-09	7,30E-09	7,26E-09
713	Prata	Ar	kg	2,23E-10	2,28E-10	2,33E-10	1,89E-10	1,89E-10	1,89E-10
714	Prata-110	Ar	Bq	2,28E-06	2,57E-06	3,14E-06	2,15E-06	2,15E-06	2,07E-06
715	Sódio	Ar	kg	2,29E-05	2,30E-05	2,31E-05	2,21E-05	2,21E-05	2,21E-05
716	Estrôncio	Ar	kg	6,67E-06	7,77E-06	8,75E-06	6,30E-06	6,31E-06	6,29E-06
717	Estireno	Ar	kg	1,56E-09	2,35E-09	3,07E-09	1,40E-09	1,41E-09	1,39E-09
718	Sulfato de sódio	Ar	kg	4,94E-06	7,17E-06	9,28E-06	4,47E-06	4,49E-06	4,41E-06
719	Dióxido de enxofre	Ar	kg	1,34E-01	1,73E-01	2,09E-01	1,24E-01	1,24E-01	1,24E-01
720	Hexafluoreto de enxofre	Ar	kg	5,85E-08	5,97E-08	6,08E-08	4,96E-08	4,96E-08	4,96E-08
721	Ácido sulfúrico	Ar	kg	1,37E-11	2,03E-11	2,63E-11	1,24E-11	1,25E-11	1,23E-11
722	Terpenos	Ar	kg	7,60E-09	9,84E-09	1,19E-08	6,79E-09	6,80E-09	6,77E-09
723	Tálio	Ar	kg	2,28E-08	2,29E-08	2,30E-08	2,20E-08	2,20E-08	2,20E-08
724	Tório	Ar	kg	8,99E-08	9,01E-08	9,04E-08	8,69E-08	8,69E-08	8,69E-08
725	Tório-228	Ar	Bq	1,04E-01	1,58E-01	2,07E-01	9,39E-02	9,42E-02	9,31E-02
726	Tório-230	Ar	Bq	2,57E-01	3,69E-01	4,75E-01	2,34E-01	2,34E-01	2,31E-01
727	Tório-232	Ar	Bq	1,64E-01	2,49E-01	3,25E-01	1,48E-01	1,48E-01	1,46E-01
728	Tório-234	Ar	Bq	6,57E-02	9,53E-02	1,23E-01	5,95E-02	5,97E-02	5,87E-02
729	Estanho	Ar	kg	9,56E-07	1,61E-06	2,21E-06	8,52E-07	8,58E-07	8,39E-07
730	Titânio	Ar	kg	1,38E-05	1,39E-05	1,39E-05	1,34E-05	1,34E-05	1,34E-05
731	Tolueno	Ar	kg	7,14E-05	8,12E-05	9,01E-05	6,81E-05	6,81E-05	6,80E-05
732	Tungstênio	Ar	kg	1,96E-10	2,85E-10	3,69E-10	1,78E-10	1,78E-10	1,75E-10
733	Urânio	Ar	kg	4,57E-08	4,58E-08	4,59E-08	4,42E-08	4,42E-08	4,42E-08
734	Urânio-234	Ar	Bq	7,78E-01	1,12E+00	1,45E+00	7,05E-01	7,07E-01	6,96E-01
735	Urânio-235	Ar	Bq	3,70E-02	5,38E-02	6,96E-02	3,36E-02	3,36E-02	3,31E-02
736	Urânio-238	Ar	Bq	1,18E+00	1,74E+00	2,25E+00	1,07E+00	1,07E+00	1,06E+00
737	Alfa de urânio	Ar	Bq	3,57E+00	5,18E+00	6,71E+00	3,23E+00	3,24E+00	3,19E+00

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
738	Vanádio	Ar	kg	1,56E-06	1,91E-06	2,22E-06	1,46E-06	1,46E-06	1,45E-06
739	Água	Ar	kg	4,86E-07	1,01E-06	1,49E-06	4,22E-07	4,27E-07	4,12E-07
740	Xenon - 131m	Ar	Bq	2,75E+01	3,44E+01	4,31E+01	2,55E+01	2,56E+01	2,48E+01
741	Xenon-133	Ar	Bq	9,33E+02	1,15E+03	1,43E+03	8,70E+02	8,71E+02	8,42E+02
742	Xenon-133m	Ar	Bq	2,51E+00	3,54E+00	4,56E+00	2,28E+00	2,29E+00	2,25E+00
743	Xenon-135	Ar	Bq	3,78E+02	4,67E+02	5,83E+02	3,52E+02	3,53E+02	3,41E+02
744	Xenon-135m	Ar	Bq	2,30E+02	2,82E+02	3,52E+02	2,15E+02	2,15E+02	2,08E+02
745	Xenon-137	Ar	Bq	5,84E+00	6,74E+00	8,28E+00	5,50E+00	5,50E+00	5,29E+00
746	Xenon-138	Ar	Bq	4,67E+01	5,50E+01	6,78E+01	4,38E+01	4,38E+01	4,22E+01
747	Xileno	Ar	kg	1,21E-04	1,74E-04	2,22E-04	1,11E-04	1,11E-04	1,10E-04
748	Zinco	Ar	kg	2,69E-05	4,45E-05	6,04E-05	2,39E-05	2,41E-05	2,36E-05
749	Zinco-65	Ar	Bq	4,40E-05	4,97E-05	6,07E-05	4,16E-05	4,16E-05	3,99E-05
750	Zircônio	Ar	kg	1,11E-06	1,11E-06	1,11E-06	1,07E-06	1,07E-06	1,07E-06
751	Zircônio-95	Ar	Bq	4,30E-05	4,86E-05	5,93E-05	4,06E-05	4,07E-05	3,90E-05
752	Benzeno	Ar	kg	4,76E-11	9,92E-11	1,45E-10	4,13E-11	4,18E-11	4,03E-11
753	Butadieno	Ar	kg	4,51E-11	9,40E-11	1,38E-10	3,91E-11	3,96E-11	3,82E-11
754	Cádmio	Ar	kg	2,38E-14	4,97E-14	7,28E-14	2,07E-14	2,09E-14	2,02E-14
755	Dióxido de carbono, fóssil	Ar	kg	7,51E-06	1,57E-05	2,29E-05	6,52E-06	6,60E-06	6,36E-06
756	Monóxido de carbono, fóssil	Ar	kg	8,82E-09	1,84E-08	2,69E-08	7,66E-09	7,75E-09	7,47E-09
757	Cromo	Ar	kg	1,19E-13	2,49E-13	3,64E-13	1,03E-13	1,05E-13	1,01E-13
758	Cobre	Ar	kg	4,05E-12	8,46E-12	1,24E-11	3,52E-12	3,56E-12	3,43E-12
759	Monóxido de dinitrogênio	Ar	kg	7,15E-11	1,49E-10	2,18E-10	6,21E-11	6,28E-11	6,06E-11
760	Óxido de etileno	Ar	kg	4,35E-10	9,09E-10	1,33E-09	3,78E-10	3,83E-10	3,69E-10
761	Formaldeído	Ar	kg	3,75E-10	7,83E-10	1,15E-09	3,26E-10	3,30E-10	3,18E-10
762	Calor, resíduos	Ar	MJ	1,09E-04	2,27E-04	3,32E-04	9,44E-05	9,55E-05	9,21E-05
763	Cloreto de hidrogênio	Ar	kg	2,05E-12	4,28E-12	6,26E-12	1,78E-12	1,80E-12	1,74E-12
764	Chumbo	Ar	kg	4,77E-14	9,95E-14	1,46E-13	4,14E-14	4,19E-14	4,04E-14
765	Mercúrio	Ar	kg	1,67E-16	3,48E-16	5,10E-16	1,45E-16	1,47E-16	1,41E-16
766	Metano, fóssil	Ar	kg	1,19E-10	2,49E-10	3,64E-10	1,03E-10	1,05E-10	1,01E-10



(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
767	Níquel	Ar	kg	1,67E-13	3,48E-13	5,10E-13	1,45E-13	1,47E-13	1,41E-13
768	Óxidos de azoto	Ar	kg	3,34E-08	6,96E-08	1,02E-07	2,90E-08	2,93E-08	2,83E-08
769	COV não-metano, os compostos orgânicos voláteis não metânicos, de origem não-especificada	Ar	kg	1,60E-09	3,34E-09	4,88E-09	1,39E-09	1,41E-09	1,36E-09
770	Partículas, < 2.5µm	Ar	kg	9,06E-11	1,89E-10	2,77E-10	7,87E-11	7,96E-11	7,67E-11
771	Selênio	Ar	kg	2,38E-14	4,97E-14	7,28E-14	2,07E-14	2,09E-14	2,02E-14
772	Dióxido de enxofre	Ar	kg	2,38E-09	4,97E-09	7,28E-09	2,07E-09	2,09E-09	2,02E-09
773	Água	Ar	kg	2,96E-06	6,17E-06	9,03E-06	2,57E-06	2,60E-06	2,50E-06
774	Zinco	Ar	kg	2,38E-12	4,97E-12	7,28E-12	2,07E-12	2,09E-12	2,02E-12
775	2-Hexanone	Água	kg	2,14E-07	1,43E-08	1,43E-08	4,72E-07	4,72E-07	3,26E-07
776	4-metil-2-pentanona	Água	kg	1,38E-07	9,20E-09	9,21E-09	3,04E-07	3,04E-07	2,10E-07
777	Acetona	Água	kg	3,28E-07	2,19E-08	2,19E-08	7,24E-07	7,24E-07	4,99E-07
778	Acidez, não especificado.	Água	kg	3,26E-10	5,69E-10	7,91E-10	2,86E-10	2,88E-10	2,80E-10
779	Ácidos, não especificados.	Água	kg	5,05E-10	1,93E-10	1,93E-10	9,04E-10	9,04E-10	6,74E-10
780	Alumínio	Água	kg	2,83E-03	1,80E-04	1,81E-04	6,25E-03	6,25E-03	4,31E-03
781	Amônia	Água	kg	6,13E-04	4,01E-05	4,01E-05	1,36E-03	1,36E-03	9,34E-04
782	Amônia, como N	Água	kg	2,54E-10	9,68E-11	9,68E-11	4,54E-10	4,54E-10	3,39E-10
783	Amônio, íon	Água	kg	2,10E-07	1,06E-07	1,19E-07	3,58E-07	3,58E-07	2,71E-07
784	Antimônio	Água	kg	1,76E-06	1,11E-07	1,11E-07	3,90E-06	3,90E-06	2,68E-06
785	AOX, Adsorbable halogênio orgânico como o Cl	Água	kg	1,26E-06	1,76E-06	2,21E-06	1,07E-06	1,07E-06	1,07E-06
786	Arsênico, íon	Água	kg	1,58E-05	7,45E-06	7,46E-06	2,64E-05	2,64E-05	2,03E-05
787	Bário	Água	kg	3,86E-02	2,44E-03	2,44E-03	8,55E-02	8,55E-02	5,89E-02
788	Benzeno	Água	kg	5,50E-05	3,67E-06	3,67E-06	1,21E-04	1,21E-04	8,37E-05
789	Benzeno, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	Água	kg	3,27E-09	2,19E-10	2,19E-10	7,23E-09	7,23E-09	4,99E-09
790	Benzeno, etil-	Água	kg	3,09E-06	2,07E-07	2,07E-07	6,83E-06	6,83E-06	4,71E-06
791	Benzeno, pentametil-	Água	kg	2,46E-09	1,64E-10	1,64E-10	5,42E-09	5,42E-09	3,74E-09
792	Benzenes, alquilados, não especificado.	Água	kg	1,54E-06	9,72E-08	9,72E-08	3,42E-06	3,42E-06	2,35E-06
793	Ácido benzóico	Água	kg	3,32E-05	2,22E-06	2,22E-06	7,34E-05	7,34E-05	5,06E-05

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
794	Berílio	Água	kg	4,99E-07	3,25E-08	3,25E-08	1,10E-06	1,10E-06	7,61E-07
795	Bifenil	Água	kg	1,00E-07	6,29E-09	6,29E-09	2,21E-07	2,21E-07	1,52E-07
796	DBO5, a demanda biológica de oxigênio	Água	kg	1,65E-02	1,11E-02	1,12E-02	2,34E-02	2,34E-02	1,93E-02
797	Boro	Água	kg	1,03E-04	6,87E-06	6,88E-06	2,27E-04	2,27E-04	1,57E-04
798	Brometo	Água	kg	7,02E-03	4,69E-04	4,69E-04	1,55E-02	1,55E-02	1,07E-02
799	Bromo	Água	kg	3,32E-07	5,81E-07	8,06E-07	2,92E-07	2,94E-07	2,86E-07
800	Cádmio, íon	Água	kg	8,30E-06	7,11E-06	7,15E-06	9,66E-06	9,66E-06	8,75E-06
801	Cálcio, íon	Água	kg	1,05E-01	7,03E-03	7,04E-03	2,32E-01	2,32E-01	1,60E-01
802	Cloreto	Água	kg	1,18E+00	7,92E-02	7,92E-02	2,61E+00	2,61E+00	1,80E+00
803	Cromo	Água	kg	7,44E-05	4,61E-06	4,61E-06	1,65E-04	1,65E-04	1,13E-04
804	Crômio VI	Água	kg	7,18E-06	6,91E-06	6,93E-06	7,33E-06	7,33E-06	7,12E-06
805	Cromo, íon	Água	kg	6,14E-06	1,02E-06	1,13E-06	1,29E-05	1,29E-05	9,03E-06
806	Cobalto	Água	kg	7,26E-07	4,85E-08	4,85E-08	1,60E-06	1,60E-06	1,11E-06
807	COD, demanda química de oxigênio	Água	kg	2,23E-02	1,20E-02	1,22E-02	3,56E-02	3,56E-02	2,78E-02
808	Íon cobre,	Água	kg	4,41E-05	3,55E-05	3,57E-05	5,41E-05	5,41E-05	4,77E-05
809	Cianeto	Água	kg	6,85E-05	6,86E-05	6,87E-05	6,62E-05	6,62E-05	6,62E-05
810	Decano	Água	kg	9,55E-07	6,37E-08	6,37E-08	2,11E-06	2,11E-06	1,45E-06
811	Detergente, óleo	Água	kg	2,76E-05	1,86E-06	1,86E-06	6,08E-05	6,08E-05	4,20E-05
812	Dibenzofurano	Água	kg	6,23E-09	4,16E-10	4,16E-10	1,38E-08	1,38E-08	9,49E-09
813	Dibenzothiophene	Água	kg	5,36E-09	3,56E-10	3,56E-10	1,18E-08	1,18E-08	8,16E-09
814	Doutor, carbono orgânico dissolvido	Água	kg	6,86E-04	8,10E-04	9,21E-04	6,26E-04	6,26E-04	6,26E-04
815	Docosane	Água	kg	3,51E-08	2,34E-09	2,34E-09	7,74E-08	7,74E-08	5,34E-08
816	Dodecane	Água	kg	1,81E-06	1,21E-07	1,21E-07	4,00E-06	4,00E-06	2,76E-06
817	Eicosane	Água	kg	4,99E-07	3,33E-08	3,33E-08	1,10E-06	1,10E-06	7,60E-07
818	Fluorene, 1-metil -	Água	kg	3,73E-09	2,49E-10	2,49E-10	8,23E-09	8,23E-09	5,68E-09
819	Fluorenes, alquilados, não especificado.	Água	kg	8,95E-08	5,63E-09	5,63E-09	1,98E-07	1,98E-07	1,36E-07
820	Fluoreto	Água	kg	4,03E-06	2,84E-06	3,48E-06	6,36E-06	6,37E-06	4,94E-06
821	Flúor	Água	kg	4,42E-08	2,79E-09	2,79E-09	9,77E-08	9,77E-08	6,73E-08
822	Formaldeído	Água	kg	1,26E-04	1,76E-04	2,21E-04	1,07E-04	1,07E-04	1,07E-04

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
823	Calor, resíduos	Água	MJ	5,34E-01	7,42E-01	9,26E-01	4,54E-01	4,54E-01	4,53E-01
824	Hexadecano	Água	kg	1,98E-06	1,32E-07	1,32E-07	4,37E-06	4,37E-06	3,01E-06
825	Ácido hexanóico	Água	kg	6,88E-06	4,59E-07	4,59E-07	1,52E-05	1,52E-05	1,05E-05
826	Hidrocarbonetos, não especificados.	Água	kg	1,56E-06	1,97E-06	2,34E-06	1,40E-06	1,41E-06	1,40E-06
827	Ferro	Água	kg	6,30E-03	1,03E-03	1,03E-03	1,31E-02	1,31E-02	9,23E-03
828	Íon ferro,	Água	kg	2,79E-04	2,91E-04	3,02E-04	2,67E-04	2,67E-04	2,66E-04
829	Chumbo	Água	kg	3,29E-05	1,54E-05	1,55E-05	5,52E-05	5,52E-05	4,23E-05
830	Chumbo-210	Água	Bq	4,48E-04	7,84E-04	1,09E-03	3,94E-04	3,97E-04	3,86E-04
831	Chumbo-210/kg	Água	kg	3,41E-15	2,27E-16	2,27E-16	7,52E-15	7,52E-15	5,18E-15
832	Lítio, íon	Água	kg	1,85E-03	2,86E-04	2,87E-04	3,87E-03	3,87E-03	2,72E-03
833	m-xileno	Água	kg	9,93E-07	6,63E-08	6,64E-08	2,19E-06	2,19E-06	1,51E-06
834	Magnésio	Água	kg	2,06E-02	1,38E-03	1,38E-03	4,54E-02	4,54E-02	3,13E-02
835	Manganês	Água	kg	4,81E-04	4,47E-04	4,47E-04	5,10E-04	5,10E-04	4,85E-04
836	Mercurio	Água	kg	7,41E-07	7,19E-07	7,26E-07	7,53E-07	7,53E-07	7,31E-07
837	Íons metálicos, não especificados.	Água	kg	2,37E-11	9,04E-12	9,04E-12	4,24E-11	4,24E-11	3,16E-11
838	Metano, monocloro-, R-40	Água	kg	1,32E-09	8,80E-11	8,80E-11	2,91E-09	2,91E-09	2,01E-09
839	Metanol	Água	kg	3,79E-05	5,29E-05	6,63E-05	3,21E-05	3,21E-05	3,21E-05
840	Metil etil cetona	Água	kg	2,64E-09	1,76E-10	1,76E-10	5,82E-09	5,82E-09	4,02E-09
841	Molibdênio	Água	kg	7,53E-07	5,03E-08	5,04E-08	1,66E-06	1,66E-06	1,15E-06
842	n-Hexacosane	Água	kg	2,19E-08	1,46E-09	1,46E-09	4,83E-08	4,83E-08	3,33E-08
843	Naftaleno	Água	kg	5,97E-07	3,98E-08	3,98E-08	1,32E-06	1,32E-06	9,09E-07
844	Naftaleno, 2-metil -	Água	kg	5,19E-07	3,46E-08	3,46E-08	1,15E-06	1,15E-06	7,90E-07
845	Naftalenos, alquilados, não especificado.	Água	kg	2,53E-08	1,59E-09	1,59E-09	5,60E-08	5,60E-08	3,86E-08
846	Níquel	Água	kg	8,84E-06	5,75E-07	5,75E-07	1,95E-05	1,95E-05	1,35E-05
847	Níquel, íon	Água	kg	3,50E-05	3,52E-05	3,55E-05	3,38E-05	3,38E-05	3,37E-05
848	Nitrato	Água	kg	1,70E-13	6,49E-14	6,49E-14	3,04E-13	3,04E-13	2,27E-13
849	Compostos de nitrato	Água	kg	6,85E-12	2,61E-12	2,61E-12	1,22E-11	1,22E-11	9,14E-12
850	Ácido nítrico	Água	kg	1,54E-08	5,86E-09	5,86E-09	2,75E-08	2,75E-08	2,05E-08
851	Nitrogênio, total	Água	kg	4,75E-07	1,81E-07	1,81E-07	8,50E-07	8,50E-07	6,34E-07

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
852	o-Cresol	Água	kg	9,43E-07	6,29E-08	6,29E-08	2,08E-06	2,08E-06	1,44E-06
853	o-xileno	Água	kg	3,42E-11	5,98E-11	8,30E-11	3,00E-11	3,03E-11	2,94E-11
854	Octadecane	Água	kg	4,89E-07	3,26E-08	3,26E-08	1,08E-06	1,08E-06	7,44E-07
855	Óleos, não especificados.	Água	kg	1,54E-03	8,47E-04	8,57E-04	2,43E-03	2,43E-03	1,91E-03
856	p-Cresol	Água	kg	1,02E-06	6,79E-08	6,79E-08	2,25E-06	2,25E-06	1,55E-06
857	Fenantreno	Água	kg	9,08E-09	5,83E-10	5,83E-10	2,01E-08	2,01E-08	1,38E-08
858	Phenanthrenes, alquilados, não especificado.	Água	kg	1,05E-08	6,60E-10	6,60E-10	2,32E-08	2,32E-08	1,60E-08
859	Fenol	Água	kg	2,65E-05	1,85E-05	2,29E-05	4,14E-05	4,14E-05	3,18E-05
860	Fenol, 2,4-dimetil -	Água	kg	9,18E-07	6,13E-08	6,13E-08	2,03E-06	2,03E-06	1,40E-06
861	Fenóis, não especificados.	Água	kg	2,70E-06	2,37E-07	2,37E-07	5,89E-06	5,89E-06	4,08E-06
862	Fósforo	Água	kg	1,26E-05	1,76E-05	2,21E-05	1,07E-05	1,07E-05	1,07E-05
863	Espécie radioativa, nuclídeos, não especificado.	Água	Bq	2,77E+01	1,06E+01	1,06E+01	4,96E+01	4,96E+01	3,70E+01
864	Rádio-226	Água	Bq	2,05E-03	3,59E-03	4,98E-03	1,80E-03	1,82E-03	1,76E-03
865	Rádio-226/kg	Água	kg	1,18E-12	7,90E-14	7,90E-14	2,62E-12	2,62E-12	1,80E-12
866	Rádio-228	Água	Bq	2,89E-03	5,05E-03	7,00E-03	2,53E-03	2,55E-03	2,48E-03
867	Rádio-228/kg	Água	kg	6,06E-15	4,04E-16	4,04E-16	1,34E-14	1,34E-14	9,22E-15
868	Selênio	Água	kg	4,08E-07	4,70E-08	4,70E-08	8,75E-07	8,75E-07	6,10E-07
869	Prata	Água	kg	6,88E-05	4,59E-06	4,59E-06	1,52E-04	1,52E-04	1,05E-04
870	Prata, íon	Água	kg	3,25E-09	5,68E-09	7,88E-09	2,85E-09	2,87E-09	2,79E-09
871	Sódio, íon	Água	kg	3,37E-01	2,60E-02	2,65E-02	7,40E-01	7,40E-01	5,11E-01
872	Sólidos inorgânicos	Água	kg	3,90E-11	1,49E-11	1,49E-11	6,98E-11	6,98E-11	5,21E-11
873	Resolvido sólidos	Água	kg	1,46E+00	9,75E-02	9,76E-02	3,22E+00	3,22E+00	2,22E+00
874	Estrôncio	Água	kg	1,79E-03	1,19E-04	1,19E-04	3,94E-03	3,94E-03	2,72E-03
875	Sulfato de sódio	Água	kg	2,77E-03	3,08E-04	3,08E-04	5,95E-03	5,95E-03	4,15E-03
876	Sulfeto	Água	kg	1,61E-06	9,95E-08	9,95E-08	3,56E-06	3,56E-06	2,45E-06
877	Enxofre	Água	kg	8,68E-05	5,80E-06	5,80E-06	1,92E-04	1,92E-04	1,32E-04
878	Sólidos em suspensão, não especificados.	Água	kg	9,47E-02	1,35E-02	1,36E-02	2,00E-01	2,00E-01	1,40E-01
879	Alcatrão	Água	kg	3,87E-13	1,48E-13	1,48E-13	6,92E-13	6,92E-13	5,17E-13
880	Tetradecane	Água	kg	7,94E-07	5,30E-08	5,30E-08	1,75E-06	1,75E-06	1,21E-06

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
881	Tálio	Água	kg	3,71E-07	2,34E-08	2,34E-08	8,21E-07	8,21E-07	5,66E-07
882	Estanho	Água	kg	7,17E-06	4,62E-07	4,62E-07	1,59E-05	1,59E-05	1,09E-05
883	Estanho, íon	Água	kg	1,71E-10	2,98E-10	4,14E-10	1,50E-10	1,51E-10	1,47E-10
884	Titânio, íon	Água	kg	2,70E-05	1,70E-06	1,70E-06	5,98E-05	5,98E-05	4,12E-05
885	TOC, carbono orgânico Total	Água	kg	6,86E-04	8,10E-04	9,21E-04	6,26E-04	6,26E-04	6,26E-04
886	Tolueno	Água	kg	5,19E-05	3,47E-06	3,47E-06	1,15E-04	1,15E-04	7,91E-05
887	Vanádio	Água	kg	8,90E-07	5,94E-08	5,94E-08	1,96E-06	1,96E-06	1,35E-06
888	Vanádio, íon	Água	kg	4,21E-11	7,36E-11	1,02E-10	3,70E-11	3,73E-11	3,62E-11
889	Xileno	Água	kg	2,79E-05	1,86E-06	1,86E-06	6,16E-05	6,16E-05	4,25E-05
890	Ítrio	Água	kg	2,21E-07	1,47E-08	1,47E-08	4,88E-07	4,88E-07	3,36E-07
891	Zinco	Água	kg	6,53E-05	4,22E-06	4,22E-06	1,44E-04	1,44E-04	9,95E-05
892	Zinco, íon	Água	kg	1,47E-04	1,49E-04	1,52E-04	1,41E-04	1,41E-04	1,41E-04
893	Alumínio	Água	kg	9,65E-05	1,17E-04	1,35E-04	9,07E-05	9,08E-05	9,04E-05
894	Amônio, íon	Água	kg	3,56E-05	3,71E-05	3,85E-05	3,42E-05	3,42E-05	3,42E-05
895	Antimônio	Água	kg	1,94E-06	2,92E-06	3,81E-06	1,74E-06	1,75E-06	1,73E-06
896	Arsênico, íon	Água	kg	9,76E-06	1,47E-05	1,91E-05	8,78E-06	8,81E-06	8,71E-06
897	Bário	Água	kg	2,24E-06	2,51E-06	2,76E-06	2,13E-06	2,13E-06	2,13E-06
898	Berílio	Água	kg	2,61E-07	2,96E-07	3,27E-07	2,48E-07	2,48E-07	2,48E-07
899	DBO5, a demanda biológica de oxigênio	Água	kg	7,12E-06	7,41E-06	7,69E-06	6,84E-06	6,84E-06	6,84E-06
900	Boro	Água	kg	9,76E-05	1,73E-04	2,41E-04	8,64E-05	8,71E-05	8,49E-05
901	Bromo	Água	kg	4,40E-06	6,65E-06	8,68E-06	3,95E-06	3,96E-06	3,92E-06
902	Cádmio, íon	Água	kg	3,03E-07	3,61E-07	4,13E-07	2,87E-07	2,87E-07	2,86E-07
903	Cálcio, íon	Água	kg	1,33E-02	1,58E-02	1,79E-02	1,26E-02	1,26E-02	1,25E-02
904	Cloreto	Água	kg	4,75E-01	4,95E-01	5,13E-01	4,57E-01	4,57E-01	4,57E-01
905	Crômio VI	Água	kg	6,03E-06	8,92E-06	1,15E-05	5,44E-06	5,46E-06	5,40E-06
906	Cromo, íon	Água	kg	1,71E-07	1,72E-07	1,74E-07	1,47E-07	1,47E-07	1,47E-07
907	Cobalto	Água	kg	2,04E-06	2,40E-06	2,73E-06	1,92E-06	1,93E-06	1,92E-06

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
908	COD, demanda química de oxigênio	Água	kg	7,12E-06	7,41E-06	7,69E-06	6,84E-06	6,84E-06	6,84E-06
909	Íon cobre,	Água	kg	1,41E-06	1,81E-06	2,16E-06	1,32E-06	1,32E-06	1,31E-06
910	Flúor	Água	kg	1,52E-04	1,68E-04	1,82E-04	1,45E-04	1,46E-04	1,45E-04
911	Iodeto	Água	kg	5,34E-07	8,08E-07	1,05E-06	4,80E-07	4,82E-07	4,76E-07
912	Íon ferro,	Água	kg	9,72E-03	1,46E-02	1,91E-02	8,75E-03	8,78E-03	8,68E-03
913	Chumbo	Água	kg	8,58E-08	1,16E-07	1,42E-07	7,95E-08	7,98E-08	7,90E-08
914	Chumbo-210	Água	Bq	2,45E-03	2,84E-03	3,18E-03	2,33E-03	2,33E-03	2,32E-03
915	Magnésio	Água	kg	5,33E-03	6,25E-03	7,08E-03	5,03E-03	5,04E-03	5,02E-03
916	Manganês	Água	kg	3,21E-04	3,66E-04	4,07E-04	3,04E-04	3,04E-04	3,03E-04
917	Mercúrio	Água	kg	3,20E-08	3,65E-08	4,07E-08	3,03E-08	3,03E-08	3,02E-08
918	Molibdênio	Água	kg	1,36E-05	2,04E-05	2,67E-05	1,22E-05	1,22E-05	1,21E-05
919	Níquel, íon	Água	kg	1,40E-05	1,57E-05	1,72E-05	1,33E-05	1,33E-05	1,33E-05
920	Nitrato	Água	kg	3,27E-03	3,44E-03	3,58E-03	2,86E-03	2,86E-03	2,85E-03
921	Fosfato	Água	kg	1,85E-02	2,29E-02	2,69E-02	1,74E-02	1,74E-02	1,73E-02
922	Fósforo	Água	kg	1,48E-09	1,92E-09	2,32E-09	1,32E-09	1,32E-09	1,32E-09
923	Polônio-210	Água	Bq	3,73E-03	4,32E-03	4,84E-03	3,54E-03	3,55E-03	3,53E-03
924	Potássio-40	Água	Bq	2,96E-04	3,43E-04	3,84E-04	2,81E-04	2,82E-04	2,80E-04
925	Potássio, íon	Água	kg	1,61E-03	2,22E-03	2,77E-03	1,48E-03	1,48E-03	1,47E-03
926	Rádio-226	Água	Bq	2,75E-03	3,18E-03	3,57E-03	2,61E-03	2,61E-03	2,60E-03
927	Escândio	Água	kg	8,18E-07	1,18E-06	1,52E-06	7,42E-07	7,44E-07	7,37E-07
928	Selênio	Água	kg	1,82E-06	2,60E-06	3,30E-06	1,66E-06	1,66E-06	1,65E-06
929	Silício	Água	kg	1,34E-03	1,81E-03	2,24E-03	1,23E-03	1,23E-03	1,22E-03
930	Prata, íon	Água	kg	1,34E-07	1,55E-07	1,73E-07	1,27E-07	1,27E-07	1,27E-07
931	Sódio, íon	Água	kg	4,64E-03	5,99E-03	7,21E-03	4,31E-03	4,31E-03	4,29E-03
932	Sólidos inorgânicos	Água	kg	2,23E-02	3,30E-02	4,27E-02	2,01E-02	2,02E-02	1,99E-02
933	Resolvido sólidos	Água	kg	7,65E-03	7,97E-03	8,26E-03	7,35E-03	7,35E-03	7,35E-03
934	Estrôncio	Água	kg	3,12E-04	3,42E-04	3,69E-04	2,97E-04	2,97E-04	2,97E-04
935	Sulfato de sódio	Água	kg	1,44E-01	1,89E-01	2,29E-01	1,34E-01	1,34E-01	1,33E-01
936	Tálio	Água	kg	1,06E-08	1,46E-08	1,82E-08	9,82E-09	9,86E-09	9,75E-09

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
937	Tório-228	Água	Bq	3,01E-05	3,48E-05	3,90E-05	2,85E-05	2,86E-05	2,84E-05
938	Estanho, íon	Água	kg	6,07E-08	9,18E-08	1,20E-07	5,53E-08	5,56E-08	5,47E-08
939	Titânio, íon	Água	kg	9,81E-07	1,27E-06	1,53E-06	9,11E-07	9,12E-07	9,07E-07
940	Tungstênio	Água	kg	1,53E-06	2,44E-06	3,26E-06	1,37E-06	1,38E-06	1,36E-06
941	Urânio-238	Água	Bq	1,26E-03	1,46E-03	1,63E-03	1,19E-03	1,20E-03	1,19E-03
942	Vanádio, íon	Água	kg	7,64E-07	1,05E-06	1,32E-06	7,00E-07	7,02E-07	6,95E-07
943	Zinco, íon	Água	kg	1,67E-05	1,99E-05	2,27E-05	1,58E-05	1,58E-05	1,57E-05
944	Arsênico, íon	Água	kg	6,30E-13	1,32E-12	1,94E-12	5,47E-13	5,54E-13	5,33E-13
945	Cádmio, íon	Água	kg	5,35E-13	1,12E-12	1,65E-12	4,64E-13	4,70E-13	4,53E-13
946	Cálcio, íon	Água	kg	1,31E-04	1,32E-04	1,34E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,10E-04
947	Íon cobre,	Água	kg	2,43E-11	5,10E-11	7,48E-11	2,11E-11	2,13E-11	2,06E-11
948	Doutor, carbono orgânico dissolvido	Água	kg	2,92E-07	4,05E-05	7,62E-05	2,82E-07	2,84E-07	2,78E-07
949	Chumbo	Água	kg	1,59E-12	3,33E-12	4,88E-12	1,38E-12	1,39E-12	1,34E-12
950	Mercúrio	Água	kg	1,37E-14	2,88E-14	4,22E-14	1,19E-14	1,20E-14	1,16E-14
951	Níquel, íon	Água	kg	2,15E-12	4,52E-12	6,63E-12	1,87E-12	1,89E-12	1,82E-12
952	Resíduos de água/m3	Água	m3	1,28E-01	1,28E-01	1,28E-01	1,24E-01	1,24E-01	1,24E-01
953	Zinco, íon	Água	kg	1,56E-12	3,28E-12	4,81E-12	1,36E-12	1,37E-12	1,32E-12
954	Acenafteno	Água	kg	7,31E-10	9,99E-10	1,24E-09	6,47E-10	6,48E-10	6,43E-10
955	Acenaphthylene	Água	kg	4,57E-11	6,25E-11	7,76E-11	4,05E-11	4,05E-11	4,02E-11
956	Actinides, radioativos, não especificados	Água	Bq	7,57E-01	1,11E+00	1,44E+00	6,84E-01	6,86E-01	6,76E-01
957	Alumínio	Água	kg	4,49E-05	6,12E-05	7,59E-05	3,93E-05	3,93E-05	3,91E-05
958	Amônio, íon	Água	kg	1,18E-05	1,48E-05	1,75E-05	1,04E-05	1,04E-05	1,03E-05
959	AOX, Adsorbable halogênio orgânico como o Cl	Água	kg	4,45E-08	5,90E-08	7,21E-08	3,93E-08	3,93E-08	3,90E-08
960	Arsênico, íon	Água	kg	1,71E-07	2,20E-07	2,64E-07	1,55E-07	1,55E-07	1,54E-07
961	Barita	Água	kg	2,35E-03	3,22E-03	3,99E-03	2,06E-03	2,06E-03	2,05E-03
962	Bário	Água	kg	1,02E-04	1,40E-04	1,74E-04	9,07E-05	9,08E-05	9,01E-05
963	Benzeno	Água	kg	9,72E-06	1,33E-05	1,65E-05	8,60E-06	8,61E-06	8,54E-06

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
964	Benzeno, etil-	Água	kg	2,82E-06	3,85E-06	4,79E-06	2,50E-06	2,50E-06	2,48E-06
965	DBO5, a demanda biológica de oxigênio	Água	kg	1,31E-02	1,75E-02	2,15E-02	1,16E-02	1,16E-02	1,15E-02
966	Boro	Água	kg	9,66E-07	1,32E-06	1,64E-06	8,56E-07	8,57E-07	8,50E-07
967	Bromo	Água	kg	8,23E-05	1,12E-04	1,40E-04	7,28E-05	7,29E-05	7,23E-05
968	Cádmio, íon	Água	kg	6,46E-08	8,69E-08	1,07E-07	5,85E-08	5,87E-08	5,82E-08
969	Cálcio, íon	Água	kg	4,85E-03	6,36E-03	7,72E-03	4,36E-03	4,36E-03	4,33E-03
970	Ácidos carboxílicos, não especificados.	Água	kg	6,75E-04	9,22E-04	1,14E-03	5,97E-04	5,98E-04	5,93E-04
971	Césio	Água	kg	1,18E-07	1,61E-07	1,99E-07	1,04E-07	1,04E-07	1,03E-07
972	Césio-137	Água	Bq	8,67E+01	1,28E+02	1,66E+02	7,84E+01	7,86E+01	7,74E+01
973	Cloreto	Água	kg	5,90E-02	8,06E-02	1,00E-01	5,22E-02	5,23E-02	5,19E-02
974	Solventes clorados, não especificados.	Água	kg	4,09E-13	4,18E-13	4,26E-13	3,47E-13	3,47E-13	3,47E-13
975	Cromo, íon	Água	kg	6,02E-07	8,20E-07	1,02E-06	5,34E-07	5,34E-07	5,30E-07
976	Cobalto	Água	kg	2,61E-09	3,84E-09	4,99E-09	2,36E-09	2,37E-09	2,33E-09
977	COD, demanda química de oxigênio	Água	kg	1,32E-02	1,77E-02	2,17E-02	1,17E-02	1,17E-02	1,17E-02
978	Íon cobre,	Água	kg	1,07E-06	2,10E-06	3,03E-06	9,27E-07	9,37E-07	9,08E-07
979	Cianeto	Água	kg	1,92E-06	3,73E-06	5,34E-06	1,67E-06	1,69E-06	1,64E-06
980	DOC, Carbono orgânico dissolvido	Água	kg	4,28E-03	5,75E-03	7,08E-03	3,80E-03	3,80E-03	3,78E-03
981	Flúor	Água	kg	2,44E-05	3,05E-05	3,61E-05	2,23E-05	2,23E-05	2,21E-05
982	Glutaraldeído	Água	kg	2,91E-07	3,97E-07	4,93E-07	2,54E-07	2,54E-07	2,53E-07
983	Calor, resíduos	Água	MJ	2,99E-03	4,37E-03	5,69E-03	2,71E-03	2,72E-03	2,67E-03
984	Hidrocarbonetos alifáticos, alcanos, não especificados.	Água	kg	1,53E-05	2,09E-05	2,59E-05	1,35E-05	1,35E-05	1,34E-05
985	Hidrocarbonetos alifáticos, insaturados	Água	kg	1,41E-06	1,93E-06	2,39E-06	1,25E-06	1,25E-06	1,24E-06
986	Hidrocarbonetos, aromáticos	Água	kg	6,62E-05	9,04E-05	1,12E-04	5,86E-05	5,86E-05	5,82E-05
987	Hidrocarbonetos, não especificados.	Água	kg	4,42E-05	6,04E-05	7,49E-05	3,87E-05	3,87E-05	3,85E-05
988	3-hidrogênio, trítio	Água	Bq	1,80E+05	2,65E+05	3,44E+05	1,63E+05	1,63E+05	1,61E+05
989	Hipoclorito	Água	kg	5,11E-06	7,73E-06	1,01E-05	4,60E-06	4,61E-06	4,56E-06
990	Iodeto	Água	kg	1,18E-05	1,61E-05	1,99E-05	1,04E-05	1,04E-05	1,03E-05
991	Íon ferro,	Água	kg	6,32E-06	3,15E-05	5,39E-05	5,60E-06	5,60E-06	5,56E-06



(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
992	Chumbo	Água	kg	9,99E-07	1,37E-06	1,70E-06	8,83E-07	8,84E-07	8,78E-07
993	Chumbo-210	Água	Bq	3,13E+00	3,58E+00	3,99E+00	2,94E+00	2,95E+00	2,93E+00
994	Magnésio	Água	kg	6,48E-04	8,85E-04	1,10E-03	5,73E-04	5,74E-04	5,70E-04
995	Manganês	Água	kg	5,23E-06	7,13E-06	8,85E-06	4,63E-06	4,64E-06	4,60E-06
996	Mercúrio	Água	kg	4,38E-09	6,01E-09	7,47E-09	3,83E-09	3,83E-09	3,81E-09
997	Metanol	Água	kg	5,09E-06	6,97E-06	8,66E-06	4,38E-06	4,39E-06	4,37E-06
998	Molibdênio	Água	kg	2,42E-08	3,30E-08	4,10E-08	2,14E-08	2,14E-08	2,13E-08
999	Níquel, íon	Água	kg	1,76E-07	2,85E-07	3,82E-07	1,57E-07	1,58E-07	1,55E-07
1000	Nitrato	Água	kg	7,64E-05	1,10E-04	1,42E-04	6,86E-05	6,88E-05	6,79E-05
1001	Nitrito	Água	kg	1,17E-06	1,73E-06	2,24E-06	1,06E-06	1,06E-06	1,05E-06
1002	Nitrogênio	Água	kg	6,12E-07	8,35E-07	1,03E-06	5,39E-07	5,39E-07	5,36E-07
1003	Nitrogênio, limite orgânico	Água	kg	2,98E-05	3,97E-05	4,86E-05	2,68E-05	2,69E-05	2,66E-05
1004	Óleos, não especificados.	Água	kg	4,10E-03	5,51E-03	6,77E-03	3,64E-03	3,64E-03	3,62E-03
1005	PAH, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	Água	kg	9,33E-07	1,27E-06	1,58E-06	8,26E-07	8,27E-07	8,20E-07
1006	Fenol	Água	kg	1,49E-05	2,04E-05	2,53E-05	1,32E-05	1,32E-05	1,31E-05
1007	Fosfato	Água	kg	5,28E-05	6,04E-05	6,73E-05	4,97E-05	4,98E-05	4,95E-05
1008	Fósforo	Água	kg	9,56E-07	1,31E-06	1,63E-06	8,47E-07	8,48E-07	8,42E-07
1009	Polônio-210	Água	Bq	4,78E+00	5,47E+00	6,08E+00	4,49E+00	4,50E+00	4,48E+00
1010	Potássio-40	Água	Bq	3,78E-01	4,33E-01	4,82E-01	3,56E-01	3,56E-01	3,55E-01
1011	Potássio, íon	Água	kg	4,96E-04	6,78E-04	8,42E-04	4,39E-04	4,40E-04	4,37E-04
1012	Espécie radioativa, nuclídeos, não especificado.	Água	Bq	4,52E+02	6,65E+02	8,64E+02	4,09E+02	4,10E+02	4,04E+02
1013	Rádio-224	Água	Bq	5,88E+00	8,03E+00	9,97E+00	5,20E+00	5,21E+00	5,17E+00
1014	Rádio-226	Água	Bq	1,29E+01	1,69E+01	2,04E+01	1,16E+01	1,17E+01	1,16E+01
1015	Rádio-228	Água	Bq	1,18E+01	1,61E+01	1,99E+01	1,04E+01	1,04E+01	1,03E+01
1016	Rubídio	Água	kg	1,18E-06	1,61E-06	1,99E-06	1,04E-06	1,04E-06	1,03E-06
1017	Selênio	Água	kg	3,62E-08	4,95E-08	6,14E-08	3,21E-08	3,21E-08	3,19E-08
1018	Silício	Água	kg	7,03E-08	9,58E-08	1,19E-07	6,15E-08	6,16E-08	6,12E-08
1019	Prata, íon	Água	kg	7,05E-08	9,63E-08	1,20E-07	6,24E-08	6,25E-08	6,20E-08
1020	Sódio, íon	Água	kg	3,60E-02	4,92E-02	6,10E-02	3,18E-02	3,19E-02	3,16E-02

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
1021	Estrôncio	Água	kg	2,13E-04	2,91E-04	3,62E-04	1,89E-04	1,89E-04	1,87E-04
1022	Estrôncio-90	Água	Bq	9,64E+00	1,42E+01	1,84E+01	8,71E+00	8,74E+00	8,61E+00
1023	Sulfato de sódio	Água	kg	3,01E-03	3,59E-03	4,12E-03	2,80E-03	2,80E-03	2,78E-03
1024	Sulfeto	Água	kg	3,31E-07	4,51E-07	5,61E-07	2,94E-07	2,95E-07	2,92E-07
1025	Enxofre	Água	kg	1,96E-06	2,67E-06	3,30E-06	1,72E-06	1,72E-06	1,71E-06
1026	Sólidos em suspensão, não especificados.	Água	kg	8,42E-03	1,15E-02	1,43E-02	7,35E-03	7,36E-03	7,32E-03
1027	t-butil-éter metil	Água	kg	7,65E-07	1,05E-06	1,30E-06	6,78E-07	6,79E-07	6,73E-07
1028	Tório-228	Água	Bq	2,35E+01	3,22E+01	3,99E+01	2,08E+01	2,09E+01	2,07E+01
1029	Titânio, íon	Água	kg	1,11E-08	1,51E-08	1,87E-08	9,68E-09	9,69E-09	9,64E-09
1030	TOC, carbono orgânico Total	Água	kg	4,28E-03	5,75E-03	7,08E-03	3,80E-03	3,81E-03	3,78E-03
1031	Tolueno	Água	kg	1,73E-05	2,34E-05	2,89E-05	1,53E-05	1,53E-05	1,52E-05
1032	Compostos de tributilestano	Água	kg	5,13E-06	5,97E-06	6,72E-06	4,92E-06	4,92E-06	4,92E-06
1033	Glicol do Triethylene	Água	kg	4,27E-06	5,86E-06	7,28E-06	3,68E-06	3,69E-06	3,67E-06
1034	Urânio-238	Água	Bq	1,61E+00	1,84E+00	2,05E+00	1,51E+00	1,51E+00	1,51E+00
1035	Vanádio, íon	Água	kg	7,22E-08	9,86E-08	1,22E-07	6,39E-08	6,40E-08	6,35E-08
1036	VOC, compostos orgânicos voláteis, de origem não-especificada	Água	kg	4,11E-05	5,62E-05	6,98E-05	3,64E-05	3,65E-05	3,62E-05
1037	Xileno	Água	kg	1,39E-05	1,90E-05	2,36E-05	1,23E-05	1,23E-05	1,22E-05
1038	Zinco, íon	Água	kg	1,23E-04	1,70E-04	2,11E-04	1,08E-04	1,08E-04	1,07E-04
1039	1-butanol	Água	kg	8,86E-08	1,86E-07	2,73E-07	7,69E-08	7,78E-08	7,50E-08
1040	1-Pentanol	Água	kg	5,73E-11	5,89E-11	6,05E-11	5,18E-11	5,18E-11	5,18E-11
1041	1-penteno	Água	kg	4,33E-11	4,45E-11	4,57E-11	3,91E-11	3,91E-11	3,91E-11
1042	1-propanol	Água	kg	3,24E-10	3,28E-10	3,31E-10	2,79E-10	2,79E-10	2,79E-10
1043	1,4-butanodiol	Água	kg	1,41E-10	2,65E-10	3,76E-10	1,22E-10	1,23E-10	1,20E-10
1044	2-Aminopropanol	Água	kg	5,09E-11	5,12E-11	5,15E-11	4,32E-11	4,32E-11	4,32E-11
1045	2-metil-1-propanol	Água	kg	1,48E-10	1,51E-10	1,54E-10	1,31E-10	1,31E-10	1,31E-10
1046	2-metil-2-buteno	Água	kg	9,60E-15	9,88E-15	1,01E-14	8,68E-15	8,68E-15	8,68E-15
1047	2-propanol	Água	kg	1,50E-10	1,52E-10	1,54E-10	1,28E-10	1,28E-10	1,28E-10
1048	Acenafteno	Água	kg	1,64E-09	2,22E-09	2,74E-09	1,46E-09	1,46E-09	1,45E-09

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
1049	Acenaphthylene	Água	kg	1,03E-10	1,39E-10	1,71E-10	9,13E-11	9,14E-11	9,07E-11
1050	Acetaldeído	Água	kg	1,79E-07	3,57E-07	5,16E-07	1,55E-07	1,57E-07	1,52E-07
1051	Ácido acético	Água	kg	2,76E-06	8,61E-04	1,62E-03	2,66E-05	3,90E-05	2,57E-06
1052	Acetona	Água	kg	1,71E-08	1,71E-08	1,72E-08	1,45E-08	1,45E-08	1,45E-08
1053	Acetonitrilo	Água	kg	1,73E-10	1,74E-10	1,74E-10	1,46E-10	1,46E-10	1,46E-10
1054	Cloreto de acetila	Água	kg	4,50E-11	4,63E-11	4,75E-11	4,07E-11	4,07E-11	4,07E-11
1055	Acidez, não especificado.	Água	kg	2,84E-07	2,11E-06	3,73E-06	3,54E-07	4,04E-07	2,56E-07
1056	Acrilato, íon	Água	kg	3,21E-08	6,76E-08	9,91E-08	2,79E-08	2,82E-08	2,72E-08
1057	Alumínio	Água	kg	7,57E-04	2,48E-04	1,36E-03	1,45E-03	1,45E-03	1,04E-03
1058	Amônio, íon	Água	kg	1,89E-03	1,96E-03	2,02E-03	1,64E-03	1,64E-03	1,63E-03
1059	Anilina	Água	kg	4,29E-10	4,40E-10	4,50E-10	3,76E-10	3,76E-10	3,76E-10
1060	Antimônio	Água	kg	3,44E-06	2,49E-05	4,40E-05	3,15E-06	3,24E-06	2,95E-06
1061	Antimônio-122	Água	Bq	6,58E-04	7,43E-04	9,07E-04	6,21E-04	6,22E-04	5,97E-04
1062	Antimônio-124	Água	Bq	1,39E-01	1,96E-01	2,52E-01	1,26E-01	1,27E-01	1,24E-01
1063	Antimônio-125	Água	Bq	1,28E-01	1,80E-01	2,32E-01	1,17E-01	1,17E-01	1,15E-01
1064	AOX, Adsorbable halogênio orgânico como o Cl	Água	kg	6,32E-07	8,84E-07	1,11E-06	5,72E-07	5,74E-07	5,67E-07
1065	Arsênico, íon	Água	kg	1,09E-05	1,78E-05	2,40E-05	9,91E-06	9,95E-06	9,81E-06
1066	Bário	Água	kg	2,30E-04	3,12E-04	3,85E-04	2,05E-04	2,05E-04	2,04E-04
1067	Bário-140	Água	Bq	2,88E-03	3,26E-03	3,97E-03	2,72E-03	2,72E-03	2,61E-03
1068	Benzeno	Água	kg	4,10E-05	4,99E-05	5,80E-05	3,84E-05	3,86E-05	3,79E-05
1069	Benzeno, 1,2-dicloro -	Água	kg	4,14E-08	8,31E-08	1,20E-07	3,59E-08	3,63E-08	3,51E-08
1070	Benzeno, cloro-	Água	kg	8,24E-07	1,68E-06	2,45E-06	7,15E-07	7,23E-07	6,98E-07
1071	Benzeno, etil-	Água	kg	6,33E-06	8,55E-06	1,06E-05	5,63E-06	5,64E-06	5,60E-06
1072	Berílio	Água	kg	4,21E-09	6,17E-09	8,01E-09	3,81E-09	3,82E-09	3,76E-09
1073	DBO5, a demanda biológica de oxigênio	Água	kg	9,61E-02	1,37E-01	1,74E-01	8,46E-02	8,51E-02	8,35E-02
1074	Borato	Água	kg	6,39E-09	6,53E-09	6,66E-09	5,67E-09	5,67E-09	5,67E-09
1075	Boro	Água	kg	8,87E-06	1,33E-05	1,73E-05	7,96E-06	7,99E-06	7,90E-06
1076	Bromato	Água	kg	1,47E-05	1,80E-04	3,26E-04	1,87E-05	2,11E-05	1,40E-05
1077	Brometo	Água	kg	3,80E-07	3,89E-07	3,96E-07	3,35E-07	3,35E-07	3,35E-07

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
1078	Bromo	Água	kg	2,10E-04	2,93E-04	3,68E-04	1,87E-04	1,87E-04	1,85E-04
1079	Buteno	Água	kg	6,23E-08	8,64E-08	1,08E-07	5,79E-08	6,05E-08	5,28E-08
1080	Acetato de butilo	Água	kg	1,15E-07	2,42E-07	3,54E-07	9,98E-08	1,01E-07	9,74E-08
1081	Butirolactona	Água	kg	1,95E-10	4,10E-10	6,02E-10	1,70E-10	1,72E-10	1,65E-10
1082	Cádmio, íon	Água	kg	2,09E-07	3,18E-07	4,18E-07	1,88E-07	1,89E-07	1,85E-07
1083	Cálcio, íon	Água	kg	1,15E-02	1,72E-02	2,24E-02	1,03E-02	1,04E-02	1,02E-02
1084	Dissulfeto de carbono	Água	kg	1,45E-09	1,52E-09	1,59E-09	1,38E-09	1,38E-09	1,38E-09
1085	Carbonato	Água	kg	2,12E-05	1,12E-04	1,94E-04	2,40E-05	2,64E-05	1,90E-05
1086	Ácidos carboxílicos, não especificados.	Água	kg	9,70E-04	1,31E-03	1,62E-03	8,63E-04	8,65E-04	8,58E-04
1087	Cério-141	Água	Bq	1,15E-03	1,30E-03	1,59E-03	1,09E-03	1,09E-03	1,05E-03
1088	Cério-144	Água	Bq	3,51E-04	3,96E-04	4,84E-04	3,31E-04	3,32E-04	3,18E-04
1089	Césio	Água	kg	2,64E-07	3,56E-07	4,40E-07	2,35E-07	2,35E-07	2,33E-07
1090	Césio-134	Água	Bq	1,04E-01	1,52E-01	1,98E-01	9,35E-02	9,38E-02	9,24E-02
1091	Césio-136	Água	Bq	2,05E-04	2,31E-04	2,82E-04	1,93E-04	1,93E-04	1,85E-04
1092	Césio-137	Água	Bq	5,50E-01	6,97E-01	8,76E-01	5,10E-01	5,11E-01	4,95E-01
1093	Cloramina	Água	kg	1,14E-09	1,17E-09	1,19E-09	1,01E-09	1,01E-09	1,01E-09
1094	Clorato	Água	kg	1,14E-04	1,37E-03	2,50E-03	1,44E-04	1,62E-04	1,08E-04
1095	Cloreto	Água	kg	1,78E-01	2,41E-01	3,04E-01	1,64E-01	1,65E-01	1,62E-01
1096	Solventes clorados, não especificados.	Água	kg	6,67E-08	4,48E-07	7,89E-07	7,39E-08	7,96E-08	6,26E-08
1097	Cloro	Água	kg	5,05E-05	7,50E-06	8,98E-05	1,05E-04	1,05E-04	7,30E-05
1098	Ácido cloroacético	Água	kg	3,49E-06	3,51E-06	3,53E-06	2,96E-06	2,96E-06	2,96E-06
1099	Cloreto de cloroacetil	Água	kg	6,79E-11	6,83E-11	6,86E-11	5,76E-11	5,76E-11	5,76E-11
1100	Clorofórmio	Água	kg	1,86E-09	3,84E-09	5,60E-09	1,61E-09	1,63E-09	1,57E-09
1101	Ácido clorossulfônico	Água	kg	6,28E-10	6,31E-10	6,34E-10	5,32E-10	5,32E-10	5,32E-10
1102	Cromo-51	Água	Bq	2,64E-01	3,17E-01	3,94E-01	2,46E-01	2,47E-01	2,38E-01
1103	Crômio VI	Água	kg	3,12E-05	5,10E-05	6,95E-05	2,86E-05	2,87E-05	2,81E-05
1104	Cromo, íon	Água	kg	9,05E-07	1,25E-06	1,58E-06	1,06E-06	1,19E-06	8,10E-07
1105	Cobalto	Água	kg	4,57E-07	6,14E-05	1,16E-04	4,29E-07	4,38E-07	4,10E-07
1106	Cobalto-57	Água	Bq	6,50E-03	7,34E-03	8,95E-03	6,13E-03	6,14E-03	5,89E-03

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
1107	Cobalto-58	Água	Bq	1,52E+00	1,95E+00	2,45E+00	1,40E+00	1,41E+00	1,37E+00
1108	Cobalto-60	Água	Bq	1,25E+00	1,59E+00	1,99E+00	1,16E+00	1,17E+00	1,13E+00
1109	COD, demanda química de oxigênio	Água	kg	7,60E-02	1,19E-01	1,57E-01	6,77E-02	6,81E-02	6,65E-02
1110	Íon cobre,	Água	kg	2,73E-06	4,81E-06	6,68E-06	2,40E-06	2,41E-06	2,36E-06
1111	Cumeno	Água	kg	2,46E-05	2,74E-05	2,98E-05	2,38E-05	2,40E-05	2,34E-05
1112	Cianeto	Água	kg	7,76E-06	1,33E-05	1,83E-05	6,86E-06	6,91E-06	6,75E-06
1113	Dicromato	Água	kg	2,04E-07	2,88E-07	3,66E-07	1,81E-07	1,82E-07	1,79E-07
1114	Dietilamina	Água	kg	2,11E-10	2,16E-10	2,20E-10	1,84E-10	1,84E-10	1,84E-10
1115	Dimetilamina	Água	kg	1,70E-09	1,71E-09	1,72E-09	1,45E-09	1,45E-09	1,45E-09
1116	Dipropilamina	Água	kg	1,06E-10	1,09E-10	1,12E-10	9,31E-11	9,31E-11	9,31E-11
1117	DOC, carbono orgânico dissolvido	Água	kg	4,35E-02	5,54E-02	6,61E-02	3,76E-02	3,76E-02	3,75E-02
1118	Etano, 1,2-dicloro -	Água	kg	7,66E-08	9,59E-08	1,14E-07	7,14E-08	7,15E-08	7,09E-08
1119	Etanol	Água	kg	2,47E-07	4,72E-07	6,71E-07	2,14E-07	2,16E-07	2,09E-07
1120	Eteno	Água	kg	9,83E-06	2,73E-03	5,16E-03	9,52E-06	9,60E-06	9,38E-06
1121	Eteno, cloro-	Água	kg	5,16E-09	8,25E-09	1,11E-08	4,69E-09	4,73E-09	4,59E-09
1122	Acetato de etila	Água	kg	1,88E-10	2,09E-10	2,27E-10	1,66E-10	1,66E-10	1,65E-10
1123	Etilamina	Água	kg	1,59E-10	1,63E-10	1,66E-10	1,39E-10	1,39E-10	1,39E-10
1124	Etileno diamina	Água	kg	7,47E-10	7,88E-10	8,25E-10	7,14E-10	7,14E-10	7,13E-10
1125	Óxido de etileno	Água	kg	2,53E-08	4,20E-08	5,69E-08	2,18E-08	2,19E-08	2,14E-08
1126	Flúor	Água	kg	1,61E-04	3,23E-04	4,67E-04	1,42E-04	1,44E-04	1,39E-04
1127	Ácido fluorsilícico	Água	kg	1,32E-06	1,98E-06	2,58E-06	1,20E-06	1,21E-06	1,19E-06
1128	Formaldeído	Água	kg	3,22E-08	5,41E-08	7,37E-08	2,92E-08	2,93E-08	2,89E-08
1129	Formamida	Água	kg	1,05E-10	1,08E-10	1,11E-10	9,47E-11	9,47E-11	9,47E-11
1130	Formiato	Água	kg	4,90E-08	4,94E-08	4,97E-08	4,16E-08	4,16E-08	4,16E-08
1131	Ácido fórmico	Água	kg	3,04E-11	3,13E-11	3,21E-11	2,75E-11	2,75E-11	2,75E-11
1132	Calor, resíduos	Água	MJ	2,89E+01	4,19E+01	5,36E+01	2,57E+01	2,58E+01	2,55E+01
1133	Hidrocarbonetos alifáticos, alcanos, não especificados.	Água	kg	3,43E-05	4,63E-05	5,72E-05	3,05E-05	3,05E-05	3,03E-05
1134	Hidrocarbonetos alifáticos, insaturados	Água	kg	3,16E-06	4,28E-06	5,28E-06	2,82E-06	2,82E-06	2,80E-06

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
1135	Hidrocarbonetos, aromáticos	Água	kg	1,39E-04	1,87E-04	2,31E-04	1,23E-04	1,24E-04	1,23E-04
1136	Hidrocarbonetos, não especificados.	Água	kg	7,47E-06	3,58E-05	6,11E-05	8,38E-06	9,11E-06	6,92E-06
1137	3-hidrogênio, trítio	Água	Bq	1,95E+04	2,85E+04	3,70E+04	1,76E+04	1,76E+04	1,74E+04
1138	Peróxido de hidrogênio	Água	kg	5,82E-07	6,88E-07	1,42E-06	8,08E-06	1,18E-05	6,54E-07
1139	Sulfeto de hidrogênio	Água	kg	5,55E-05	5,57E-05	5,59E-05	5,36E-05	5,36E-05	5,36E-05
1140	Hiroxina	Água	kg	1,02E-06	2,14E-06	3,13E-06	8,87E-07	8,98E-07	8,66E-07
1141	Hipoclorito	Água	kg	4,89E-06	7,38E-06	9,64E-06	4,39E-06	4,41E-06	4,36E-06
1142	Iodeto	Água	kg	2,69E-05	3,65E-05	4,52E-05	2,40E-05	2,40E-05	2,38E-05
1143	Iodo-131	Água	Bq	2,71E-02	3,74E-02	4,79E-02	2,48E-02	2,49E-02	2,43E-02
1144	Iodo-133	Água	Bq	1,81E-03	2,04E-03	2,49E-03	1,71E-03	1,71E-03	1,64E-03
1145	Ferro-59	Água	Bq	4,98E-04	5,62E-04	6,86E-04	4,70E-04	4,70E-04	4,51E-04
1146	Íon ferro,	Água	kg	8,76E-05	1,37E-04	1,82E-04	7,93E-05	7,97E-05	7,81E-05
1147	Isopropilamina	Água	kg	6,50E-11	6,59E-11	6,66E-11	5,55E-11	5,55E-11	5,55E-11
1148	Ácido láctico	Água	kg	8,29E-11	8,53E-11	8,74E-11	7,29E-11	7,30E-11	7,29E-11
1149	Lantânio-140	Água	Bq	3,07E-03	3,47E-03	4,23E-03	2,90E-03	2,90E-03	2,78E-03
1150	Chumbo	Água	kg	5,73E-06	8,67E-06	1,14E-05	5,19E-06	5,21E-06	5,12E-06
1151	Chumbo-210	Água	Bq	1,02E+00	1,54E+00	2,00E+00	9,13E-01	9,16E-01	9,06E-01
1152	Lítio, íon	Água	kg	2,00E-09	2,06E-09	2,11E-09	1,81E-09	1,81E-09	1,81E-09
1153	m-xileno	Água	kg	1,05E-10	1,08E-10	1,11E-10	9,53E-11	9,53E-11	9,53E-11
1154	Magnésio	Água	kg	1,64E-03	2,28E-03	2,85E-03	1,47E-03	1,47E-03	1,46E-03
1155	Manganês	Água	kg	2,31E-05	3,25E-05	4,12E-05	2,07E-05	2,07E-05	2,05E-05
1156	Manganês-54	Água	Bq	9,26E-02	1,19E-01	1,50E-01	8,56E-02	8,58E-02	8,33E-02
1157	Mercurio	Água	kg	4,06E-08	1,65E-07	2,75E-07	4,05E-08	4,22E-08	3,71E-08
1158	Metano, dicloro-, HCC-30	Água	kg	5,26E-06	7,17E-06	8,89E-06	4,64E-06	4,64E-06	4,61E-06
1159	Metanol	Água	kg	6,03E-07	1,23E-06	1,79E-06	5,23E-07	5,29E-07	5,11E-07
1160	Acetato de metila	Água	kg	2,02E-11	2,03E-11	2,05E-11	1,72E-11	1,72E-11	1,72E-11
1161	Acrilato de metila	Água	kg	3,01E-07	6,33E-07	9,28E-07	2,61E-07	2,64E-07	2,55E-07

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
1162	Amina de metilo	Água	kg	2,40E-10	3,19E-10	3,89E-10	2,05E-10	2,05E-10	2,03E-10
1163	Metanoato de metila	Água	kg	2,85E-11	5,49E-11	7,84E-11	2,49E-11	2,51E-11	2,44E-11
1164	Molibdênio	Água	kg	5,69E-06	1,83E-05	2,96E-05	5,13E-06	5,15E-06	5,07E-06
1165	Molibdênio-99	Água	Bq	1,06E-03	1,20E-03	1,46E-03	9,99E-04	1,00E-03	9,60E-04
1166	Níquel, íon	Água	kg	2,23E-06	4,07E-06	5,72E-06	2,00E-06	2,02E-06	1,97E-06
1167	Nióbio-95	Água	Bq	1,13E-02	1,56E-02	2,00E-02	1,03E-02	1,03E-02	1,01E-02
1168	Nitrato	Água	kg	2,90E-04	6,04E-04	8,85E-04	2,76E-04	2,82E-04	2,66E-04
1169	Nitrito	Água	kg	1,18E-06	4,21E-06	6,90E-06	1,17E-06	1,22E-06	1,09E-06
1170	Nitrobenzeno	Água	kg	1,05E-09	1,08E-09	1,10E-09	9,19E-10	9,19E-10	9,19E-10
1171	Nitrogênio	Água	kg	6,59E-04	7,33E-04	8,01E-04	5,60E-04	5,60E-04	5,59E-04
1172	Nitrogênio, limite orgânico	Água	kg	5,60E-05	8,31E-05	1,07E-04	5,00E-05	5,03E-05	4,95E-05
1173	Óleos, não especificados.	Água	kg	2,02E-02	2,76E-02	3,43E-02	1,79E-02	1,79E-02	1,78E-02
1174	PAH, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	Água	kg	1,84E-06	2,33E-06	2,78E-06	1,67E-06	1,67E-06	1,66E-06
1175	Fenol	Água	kg	2,18E-05	3,16E-05	4,05E-05	1,95E-05	1,96E-05	1,93E-05
1176	Fosfato	Água	kg	1,26E-04	1,54E-04	1,79E-04	1,08E-04	1,08E-04	1,07E-04
1177	Fósforo	Água	kg	5,27E-05	5,45E-05	5,61E-05	5,06E-05	5,06E-05	5,06E-05
1178	Polônio-210	Água	Bq	1,02E+00	1,54E+00	2,00E+00	9,13E-01	9,16E-01	9,06E-01
1179	Potássio-40	Água	Bq	1,27E+00	1,93E+00	2,51E+00	1,15E+00	1,15E+00	1,14E+00
1180	Potássio, íon	Água	kg	2,21E-03	4,06E-03	5,72E-03	1,95E-03	1,96E-03	1,94E-03
1181	Propanal	Água	kg	8,29E-11	8,53E-11	8,75E-11	7,50E-11	7,50E-11	7,49E-11
1182	Propeno	Água	kg	1,02E-05	2,16E-03	4,06E-03	9,77E-06	9,85E-06	9,61E-06
1183	Ácido propiônico	Água	kg	2,07E-10	2,09E-10	2,10E-10	1,76E-10	1,76E-10	1,76E-10
1184	Propilamina	Água	kg	3,32E-11	3,41E-11	3,50E-11	3,00E-11	3,00E-11	3,00E-11
1185	Óxido propileno	Água	kg	9,75E-07	1,45E-06	1,87E-06	8,51E-07	8,54E-07	8,42E-07
1186	Protactínio-234	Água	Bq	1,21E+00	1,76E+00	2,28E+00	1,10E+00	1,10E+00	1,08E+00
1187	Espécie radioativa, emissores alfa	Água	Bq	9,04E-03	1,04E-02	1,17E-02	8,54E-03	8,56E-03	8,51E-03
1188	Espécie radioativa, núclídeos, não especificado.	Água	Bq	1,38E+00	2,03E+00	2,64E+00	1,24E+00	1,25E+00	1,23E+00
1189	Rádio-224	Água	Bq	1,32E+01	1,78E+01	2,20E+01	1,17E+01	1,17E+01	1,17E+01
1190	Rádio-226	Água	Bq	7,75E+02	1,12E+03	1,45E+03	7,01E+02	7,03E+02	6,92E+02

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
1191	Rádio-228	Água	Bq	2,64E+01	3,56E+01	4,40E+01	2,35E+01	2,35E+01	2,33E+01
1192	Rubídio	Água	kg	2,64E-06	3,56E-06	4,40E-06	2,35E-06	2,35E-06	2,33E-06
1193	Rutênio-103	Água	Bq	2,23E-04	2,52E-04	3,08E-04	2,11E-04	2,11E-04	2,03E-04
1194	Escândio	Água	kg	5,19E-07	7,96E-07	1,04E-06	4,67E-07	4,68E-07	4,63E-07
1195	Selênio	Água	kg	9,26E-07	1,63E-06	2,28E-06	8,40E-07	8,43E-07	8,28E-07
1196	Silício	Água	kg	3,44E-04	6,32E-04	8,90E-04	3,04E-04	3,06E-04	3,00E-04
1197	Prata-110	Água	Bq	1,19E+00	1,50E+00	1,88E+00	1,11E+00	1,11E+00	1,07E+00
1198	Prata, íon	Água	kg	2,49E-07	3,35E-07	4,14E-07	2,22E-07	2,22E-07	2,21E-07
1199	Sódio-24	Água	Bq	8,01E-03	9,05E-03	1,10E-02	7,56E-03	7,57E-03	7,26E-03
1200	Formiato de sódio	Água	kg	5,89E-09	1,49E-08	2,30E-08	5,50E-09	5,52E-09	5,45E-09
1201	Sódio, íon	Água	kg	1,03E-01	1,32E-01	1,59E-01	9,28E-02	9,30E-02	9,24E-02
1202	Sólidos inorgânicos	Água	kg	1,64E-02	1,79E-02	1,93E-02	1,58E-02	1,59E-02	1,58E-02
1203	Sólidos dissolvidos	Água	kg	1,10E-03	3,31E-03	5,27E-03	9,97E-04	1,00E-03	9,88E-04
1204	Estrôncio	Água	kg	4,77E-04	6,46E-04	7,97E-04	4,25E-04	4,26E-04	4,22E-04
1205	Estrôncio-89	Água	Bq	2,38E-02	2,92E-02	3,64E-02	2,22E-02	2,22E-02	2,15E-02
1206	Estrôncio-90	Água	Bq	5,96E+02	8,99E+02	1,17E+03	5,36E+02	5,38E+02	5,32E+02
1207	Sulfato de sódio	Água	kg	1,89E-02	3,25E-02	4,48E-02	1,75E-02	1,76E-02	1,71E-02
1208	Sulfeto	Água	kg	9,60E-07	1,41E-06	1,82E-06	8,62E-07	8,64E-07	8,55E-07
1209	Sulfito	Água	kg	2,72E-05	4,11E-05	5,36E-05	2,44E-05	2,45E-05	2,42E-05
1210	Enxofre	Água	kg	6,76E-05	9,17E-05	1,14E-04	5,97E-05	5,98E-05	5,93E-05
1211	Sólidos em suspensão, não especificados.	Água	kg	1,34E-02	1,40E-02	1,47E-02	1,29E-02	1,29E-02	1,28E-02
1212	t-butil-éter metil	Água	kg	3,03E-08	3,05E-08	3,06E-08	2,57E-08	2,57E-08	2,57E-08
1213	t-Butilamina	Água	kg	3,82E-10	3,84E-10	3,87E-10	3,24E-10	3,24E-10	3,24E-10
1214	Tecnécio - 99m	Água	Bq	2,44E-02	2,76E-02	3,37E-02	2,30E-02	2,30E-02	2,21E-02
1215	Telúrio - 123m	Água	Bq	1,36E-02	1,99E-02	2,59E-02	1,23E-02	1,24E-02	1,22E-02
1216	Telúrio-132	Água	Bq	6,13E-05	6,92E-05	8,45E-05	5,79E-05	5,79E-05	5,56E-05
1217	Tálio	Água	kg	5,18E-08	7,83E-08	1,02E-07	4,66E-08	4,67E-08	4,62E-08
1218	Tório-228	Água	Bq	5,27E+01	7,13E+01	8,80E+01	4,69E+01	4,70E+01	4,66E+01
1219	Tório-230	Água	Bq	1,65E+02	2,40E+02	3,10E+02	1,50E+02	1,50E+02	1,48E+02



(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
1220	Tório-232	Água	Bq	2,38E-01	3,59E-01	4,69E-01	2,14E-01	2,14E-01	2,12E-01
1221	Tório-234	Água	Bq	1,21E+00	1,76E+00	2,28E+00	1,10E+00	1,10E+00	1,08E+00
1222	Estanho, íon	Água	kg	7,82E-08	1,31E-07	1,78E-07	7,04E-08	7,08E-08	6,96E-08
1223	Titânio, íon	Água	kg	1,37E-06	8,11E-05	1,52E-04	1,26E-06	1,26E-06	1,24E-06
1224	TOC, carbono orgânico Total	Água	kg	4,52E-02	5,73E-02	6,82E-02	3,91E-02	3,91E-02	3,89E-02
1225	Tolueno	Água	kg	3,03E-05	4,09E-05	5,05E-05	2,70E-05	2,70E-05	2,68E-05
1226	Tolueno, 2-cloro -	Água	kg	2,10E-10	2,14E-10	2,18E-10	1,82E-10	1,83E-10	1,82E-10
1227	Trimetilamina	Água	kg	3,58E-11	3,60E-11	3,62E-11	3,04E-11	3,04E-11	3,04E-11
1228	Tungstênio	Água	kg	4,66E-07	7,13E-07	9,35E-07	4,19E-07	4,20E-07	4,16E-07
1229	Urânio-234	Água	Bq	1,45E+00	2,11E+00	2,73E+00	1,32E+00	1,32E+00	1,30E+00
1230	Urânio-235	Água	Bq	2,40E+00	3,48E+00	4,50E+00	2,17E+00	2,18E+00	2,14E+00
1231	Urânio-238	Água	Bq	4,15E+00	6,06E+00	7,85E+00	3,76E+00	3,77E+00	3,71E+00
1232	urânio Alfa	Água	Bq	6,97E+01	1,01E+02	1,31E+02	6,32E+01	6,33E+01	6,23E+01
1233	Ureia	Água	kg	1,14E-10	1,17E-10	1,20E-10	1,02E-10	1,02E-10	1,02E-10
1234	Vanádio, íon	Água	kg	2,24E-06	4,25E-06	6,08E-06	2,03E-06	2,03E-06	2,00E-06
1235	VOC, compostos orgânicos voláteis, de origem não-especificada	Água	kg	9,52E-05	1,29E-04	1,60E-04	8,48E-05	8,50E-05	8,43E-05
1236	Xileno	Água	kg	2,50E-05	3,37E-05	4,17E-05	2,22E-05	2,22E-05	2,21E-05
1237	Zinco-65	Água	Bq	1,09E-01	1,23E-01	1,50E-01	1,03E-01	1,03E-01	9,85E-02
1238	Zinco, íon	Água	kg	3,57E-05	6,11E-05	8,39E-05	3,16E-05	3,17E-05	3,12E-05
1239	Zircônio-95	Água	Bq	1,26E-03	1,42E-03	1,73E-03	1,19E-03	1,19E-03	1,14E-03
1240	Boro	Solo	kg	1,39E-06	1,96E-06	2,48E-06	1,23E-06	1,23E-06	1,22E-06
1241	Cádmio	Solo	kg	3,37E-09	4,17E-09	4,89E-09	2,95E-09	2,95E-09	2,94E-09
1242	Cloreto	Solo	kg	4,47E-03	5,32E-03	6,09E-03	3,88E-03	3,88E-03	3,87E-03
1243	Cromo	Solo	kg	1,61E-08	1,99E-08	2,33E-08	1,41E-08	1,41E-08	1,40E-08
1244	Crômio VI	Solo	kg	7,84E-06	1,11E-05	1,40E-05	6,94E-06	6,96E-06	6,88E-06
1245	Cobre	Solo	kg	5,12E-06	7,18E-06	9,09E-06	4,53E-06	4,54E-06	4,49E-06
1246	Flúor	Solo	kg	5,30E-06	7,48E-06	9,50E-06	4,70E-06	4,71E-06	4,65E-06
1247	Calor, resíduos	Solo	MJ	1,07E+00	1,41E+00	1,73E+00	9,38E-01	9,40E-01	9,31E-01

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
1248	Ferro	Solo	kg	5,34E-03	6,16E-03	6,88E-03	4,96E-03	4,96E-03	4,94E-03
1249	Chumbo	Solo	kg	1,39E-07	1,72E-07	2,01E-07	1,21E-07	1,21E-07	1,21E-07
1250	Níquel	Solo	kg	4,36E-08	5,39E-08	6,32E-08	3,81E-08	3,81E-08	3,79E-08
1251	Óleos, biogênico	Solo	kg	3,05E-05	3,51E-05	3,92E-05	2,83E-05	2,83E-05	2,82E-05
1252	Óleos, não especificados.	Solo	kg	1,23E-04	1,59E-04	1,92E-04	1,09E-04	1,09E-04	1,08E-04
1253	Sódio	Solo	kg	1,71E-05	2,80E-05	3,76E-05	1,49E-05	1,50E-05	1,47E-05
1254	Zinco	Solo	kg	9,53E-06	1,18E-05	1,38E-05	8,32E-06	8,34E-06	8,29E-06
1255	2,4-D	Solo	kg	3,08E-09	4,01E-09	4,85E-09	2,75E-09	2,76E-09	2,74E-09
1256	Aclonifen	Solo	kg	3,15E-07	3,17E-07	3,18E-07	2,67E-07	2,67E-07	2,67E-07
1257	Aldrin	Solo	kg	3,49E-10	7,34E-10	1,08E-09	3,03E-10	3,07E-10	2,96E-10
1258	Alumínio	Solo	kg	1,83E-03	1,84E-03	1,85E-03	1,55E-03	1,55E-03	1,55E-03
1259	Antimônio	Solo	kg	5,53E-11	9,66E-11	1,35E-10	4,97E-11	5,01E-11	4,85E-11
1260	Arsênio	Solo	kg	5,89E-07	5,93E-07	5,98E-07	4,98E-07	4,98E-07	4,98E-07
1261	Atrazina	Solo	kg	9,17E-11	1,93E-10	2,82E-10	7,95E-11	8,05E-11	7,76E-11
1262	Atrazina	Solo	kg	5,00E-09	6,34E-09	7,57E-09	4,43E-09	4,43E-09	4,40E-09
1263	Benomil	Solo	kg	1,95E-11	2,53E-11	3,04E-11	1,74E-11	1,75E-11	1,74E-11
1264	Bentazona	Solo	kg	1,61E-07	1,62E-07	1,62E-07	1,36E-07	1,36E-07	1,36E-07
1265	Boro	Solo	kg	1,20E-09	1,42E-09	1,63E-09	1,06E-09	1,06E-09	1,06E-09
1266	Cádmio	Solo	kg	1,26E-06	1,27E-06	1,28E-06	1,07E-06	1,07E-06	1,07E-06
1267	Cálcio	Solo	kg	2,49E-02	2,49E-02	2,50E-02	2,10E-02	2,10E-02	2,10E-02
1268	Carbetamide	Solo	kg	5,72E-08	5,76E-08	5,78E-08	4,86E-08	4,86E-08	4,86E-08
1269	Carbofurano	Solo	kg	1,07E-08	1,38E-08	1,67E-08	9,56E-09	9,57E-09	9,52E-09
1270	Carbono	Solo	kg	2,82E-02	2,83E-02	2,83E-02	2,39E-02	2,39E-02	2,39E-02
1271	Cloreto	Solo	kg	2,80E-04	2,81E-04	2,82E-04	2,37E-04	2,37E-04	2,37E-04
1272	Clortalonil	Solo	kg	3,19E-07	3,36E-07	3,52E-07	3,07E-07	3,07E-07	3,07E-07
1273	Cromo	Solo	kg	1,72E-05	1,73E-05	1,74E-05	1,46E-05	1,46E-05	1,46E-05
1274	Cobalto	Solo	kg	1,58E-06	1,58E-06	1,59E-06	1,33E-06	1,33E-06	1,33E-06
1275	Cobre	Solo	kg	1,52E-05	1,54E-05	1,56E-05	1,29E-05	1,29E-05	1,29E-05
1276	Cipermetrina	Solo	kg	2,76E-09	3,22E-09	3,62E-09	2,41E-09	2,42E-09	2,41E-09

(continuação)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
1277	Fenpiclonil	Solo	kg	2,34E-08	2,42E-08	2,48E-08	2,13E-08	2,13E-08	2,13E-08
1278	Glifosato	Solo	kg	1,27E-07	1,54E-07	1,77E-07	1,11E-07	1,11E-07	1,11E-07
1279	Ferro	Solo	kg	2,18E-03	2,22E-03	2,27E-03	1,85E-03	1,85E-03	1,84E-03
1280	Chumbo	Solo	kg	5,79E-06	5,84E-06	5,89E-06	4,91E-06	4,91E-06	4,91E-06
1281	Linurão	Solo	kg	2,43E-06	2,44E-06	2,45E-06	2,06E-06	2,06E-06	2,06E-06
1282	Magnésio	Solo	kg	2,81E-03	2,82E-03	2,83E-03	2,38E-03	2,38E-03	2,38E-03
1283	Mancozeb	Solo	kg	4,15E-07	4,37E-07	4,57E-07	3,99E-07	3,99E-07	3,98E-07
1284	Manganês	Solo	kg	1,75E-03	1,76E-03	1,76E-03	1,48E-03	1,48E-03	1,48E-03
1285	Mercurio	Solo	kg	1,10E-08	1,15E-08	1,19E-08	9,35E-09	9,36E-09	9,34E-09
1286	Metaldeído	Solo	kg	1,09E-08	1,09E-08	1,10E-08	9,23E-09	9,23E-09	9,23E-09
1287	Metolacoloro	Solo	kg	1,76E-05	1,77E-05	1,77E-05	1,49E-05	1,49E-05	1,49E-05
1288	Metribuzina	Solo	kg	1,46E-08	1,54E-08	1,61E-08	1,40E-08	1,40E-08	1,40E-08
1289	Molibdênio	Solo	kg	3,24E-07	3,27E-07	3,29E-07	2,74E-07	2,74E-07	2,74E-07
1290	Napropamide	Solo	kg	1,92E-08	1,93E-08	1,94E-08	1,63E-08	1,63E-08	1,63E-08
1291	Níquel	Solo	kg	4,89E-06	4,96E-06	5,01E-06	4,15E-06	4,15E-06	4,15E-06
1292	Orbencarb	Solo	kg	7,89E-08	8,31E-08	8,69E-08	7,58E-08	7,58E-08	7,57E-08
1293	Fósforo	Solo	kg	8,58E-04	8,60E-04	8,62E-04	7,26E-04	7,26E-04	7,26E-04
1294	Pirimicarbe	Solo	kg	1,52E-08	1,53E-08	1,54E-08	1,29E-08	1,29E-08	1,29E-08
1295	Potássio	Solo	kg	4,77E-03	4,78E-03	4,80E-03	4,04E-03	4,04E-03	4,04E-03
1296	Silício	Solo	kg	7,23E-03	7,26E-03	7,29E-03	6,12E-03	6,12E-03	6,12E-03
1297	Estrôncio	Solo	kg	1,45E-08	1,65E-08	1,83E-08	1,28E-08	1,27E-08	1,27E-08
1298	Enxofre	Solo	kg	8,06E-04	8,13E-04	8,20E-04	6,83E-04	6,83E-04	6,83E-04
1299	Ácido sulfúrico	Solo	kg	1,76E-11	3,70E-11	5,43E-11	1,53E-11	1,55E-11	1,49E-11
1300	Tebutam	Solo	kg	4,55E-08	4,58E-08	4,60E-08	3,87E-08	3,87E-08	3,87E-08
1301	Teflubenzuron	Solo	kg	9,74E-10	1,03E-09	1,07E-09	9,36E-10	9,36E-10	9,35E-10
1302	Tirame	Solo	kg	3,46E-11	4,48E-11	5,40E-11	3,09E-11	3,10E-11	3,08E-11
1303	Estanho	Solo	kg	1,66E-09	7,66E-09	1,30E-08	1,74E-09	1,82E-09	1,57E-09

(conclusão)

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	II30	IV30	V30	II50	IV50	V50
1304	Titânio	Solo	kg	1,21E-04	1,21E-04	1,21E-04	1,02E-04	1,02E-04	1,02E-04
1305	Vanádio	Solo	kg	3,46E-06	3,47E-06	3,48E-06	2,93E-06	2,93E-06	2,93E-06
1306	Zinco	Solo	kg	1,50E-04	1,50E-04	1,51E-04	1,27E-04	1,27E-04	1,27E-04
1307	Óleos, biogênico	Solo	kg	2,04E-03	2,04E-03	2,05E-03	1,73E-03	1,73E-03	1,73E-03
1308	Óleos, não especificados.	Solo	kg	2,51E-02	3,43E-02	4,26E-02	2,22E-02	2,22E-02	2,21E-02
1309	Alumínio	Solo	kg	2,08E-04	2,83E-04	3,51E-04	1,83E-04	1,83E-04	1,82E-04
1310	Arsênio	Solo	kg	8,30E-08	1,13E-07	1,40E-07	7,32E-08	7,33E-08	7,28E-08
1311	Bário	Solo	kg	1,04E-04	1,42E-04	1,76E-04	9,15E-05	9,16E-05	9,10E-05
1312	Boro	Solo	kg	2,08E-06	2,83E-06	3,51E-06	1,83E-06	1,83E-06	1,82E-06
1313	Cálcio	Solo	kg	8,30E-04	1,13E-03	1,40E-03	7,32E-04	7,33E-04	7,28E-04
1314	Carbono	Solo	kg	6,23E-04	8,49E-04	1,05E-03	5,49E-04	5,50E-04	5,46E-04
1315	Cloreto	Solo	kg	7,26E-04	9,91E-04	1,23E-03	6,41E-04	6,42E-04	6,37E-04
1316	Cromo	Solo	kg	1,04E-06	1,42E-06	1,76E-06	9,15E-07	9,16E-07	9,10E-07
1317	Cobre	Solo	kg	7,98E-08	8,54E-08	9,05E-08	7,77E-08	7,84E-08	7,65E-08
1318	Flúor	Solo	kg	1,04E-05	1,42E-05	1,76E-05	9,15E-06	9,16E-06	9,10E-06
1319	Glifosato	Solo	kg	2,83E-06	3,26E-06	3,64E-06	2,63E-06	2,63E-06	2,62E-06
1320	Calor, resíduos	Solo	MJ	4,69E-03	6,50E-03	8,13E-03	4,15E-03	4,16E-03	4,12E-03
1321	Ferro	Solo	kg	4,15E-04	5,66E-04	7,02E-04	3,66E-04	3,67E-04	3,64E-04
1322	Magnésio	Solo	kg	1,66E-04	2,26E-04	2,81E-04	1,46E-04	1,47E-04	1,46E-04
1323	Manganês	Solo	kg	8,30E-06	1,13E-05	1,40E-05	7,32E-06	7,33E-06	7,28E-06
1324	Óleos, não especificados.	Solo	kg	1,06E-05	1,22E-05	1,36E-05	1,00E-05	1,00E-05	9,96E-06
1325	Fósforo	Solo	kg	1,04E-05	1,42E-05	1,76E-05	9,15E-06	9,16E-06	9,10E-06
1326	Potássio	Solo	kg	7,26E-05	9,91E-05	1,23E-04	6,41E-05	6,42E-05	6,37E-05
1327	Silício	Solo	kg	2,08E-05	2,83E-05	3,51E-05	1,83E-05	1,83E-05	1,82E-05
1328	Sódio	Solo	kg	4,15E-04	5,66E-04	7,02E-04	3,66E-04	3,67E-04	3,64E-04
1329	Estrôncio	Solo	kg	2,08E-06	2,83E-06	3,51E-06	1,83E-06	1,83E-06	1,82E-06
1330	Enxofre	Solo	kg	1,25E-04	1,70E-04	2,11E-04	1,10E-04	1,10E-04	1,09E-04
1331	Zinco	Solo	kg	3,11E-06	4,25E-06	5,27E-06	2,75E-06	2,75E-06	2,73E-06