

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

**ESTUDO COMPARATIVO DO CICLO DE
VIDA E DE CUSTO DE PILAR COM DIFERENTES
TRAÇOS DE CONCRETO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Aline de Oliveira Silva

**Santa Maria, RS, Brasil
2014**

ESTUDO COMPARATIVO DO CICLO DE VIDA E DE CUSTO DE PILAR COM DIFERENTES TRAÇOS DE CONCRETO

Aline de Oliveira Silva

Dissertação apresentado ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 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
2014**

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

Silva, Aline de Oliveira
Estudo comparativo do ciclo de vida e de custo de pilar com diferentes traços de concreto / Aline de Oliveira Silva.-2014.
146 p. ; 30cm

Orientador: Geraldo Cechella Isaia
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2014

1. Sustentabilidade 2. Concreto 3. Análise do ciclo de vida 4. Análise de custos do ciclo de vida 5. Unidade funcional 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
Aline de Oliveira Silva

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

COMISSÃO EXAMINADORA:

Geraldo Cechella Isaia, Dr.
(Presidente/Orientador)

Ana Carolina Badalotti Passuello, Dr^a (URGS)

Antônio Luiz Guerra Gastaldini, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 26 de junho de 2014

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Grande Arquiteto do Universo por todas as oportunidades a mim concedidas para que eu pudesse chegar até aqui.

Ao professor Dr. Geraldo Cechella Isaia pelo interesse em comum na pesquisa de sustentabilidade, através do qual pude continuar a pesquisar em minha área de interesse, apoiada em sua orientação, dedicação, apoio, atenção e em sua experiência compartilhada com todos os membros do projeto.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo financiamento da pesquisa e pelas bolsas concedidas, assim como a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), ao Centro Tecnológico (CT), ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) e ao Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) pela estrutura.

A todos aqueles que fizeram parte do Grupo de Estudos e Pesquisas em Concreto (GEPECON) no período em que realizei meus estudos, pela companhia e auxílio nas atividades de laboratório.

Às empresas que forneceram dados para o cálculo de inventário dos materiais estudados.

Aos professores doutores Antônio Luiz Guerra Gastaldini, Dinara Xavier da Paixão, Eduardo Rizzatti, Elvis Carissimi, Geraldo Cechella Isaia, Giane de Campos Grigoletti, Ivanor Müller e Joseane Maria Rosarola Dotto que colaboraram para a construção de meu conhecimento.

Aos membros da banca examinadora, Dr. Antônio Luiz Guerra Gastaldini e Dra. Ana Carolina Badalotti Passuello pela atenção e colaboração.

Aos meus pais e irmãos pelo apoio incondicional em minha busca pela realização de meus sonhos, mesmo significando nos privar da convivência frequente, devido a algumas centenas de quilômetros.

Aos meus amigos de Curitiba-PR e aos amigos que fiz em Santa Maria-RS pelo incentivo e força, principalmente, nos momentos de dificuldades.

Ao meu querido Guilherme Fiorin Fornel pela sua dedicação, carinho e auxílio em várias etapas de meu trabalho e também a sua família pela hospitalidade e apoio.

"A essência da profissão de engenharia é utilizar as leis e forças da natureza para o bem-estar da raça humana."

(Storm Bull - 1899)

RESUMO

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

ESTUDO COMPARATIVO DE CICLO DE VIDA E CUSTO DE PILAR COM DIFERENTES TRAÇOS DE CONCRETO.

AUTORA: ALINE DE OLIVEIRA SILVA

ORIENTADOR: GERALDO CECHELLA ISAIA

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 26 de junho de 2014.

A sustentabilidade das estruturas de concreto é fundamental na busca pela sustentabilidade no setor da construção civil, pois esse material está presente na maioria das obras brasileiras. Portanto, é necessário obter informações quanto ao desempenho dos produtos frente as suas modificações ao meio ambiente e nos aspectos econômicos, para definição da melhor estratégia para cada projeto. Através da análise do ciclo de vida (ACV) e custo do ciclo de vida (CCV) é possível mapear e quantificar os custos e impactos ambientais de cada etapa do ciclo de vida dos produtos, do berço ao túmulo, fornecendo embasamento para comparação de produtos de mesma função. A presente pesquisa utilizou essas ferramentas para traçar o desempenho de um pilar de concreto armado, do berço ao portão, dimensionado para dois níveis de resistência à compressão, 30 e 50 MPa, para traços com diferentes tipos de cimento Portland: composto (CP II-Z), pozolânico (CP IV) e de alta resistência inicial (CP V-ARI). Concluiu-se que o nível de resistência exerceu maior influência na sustentabilidade do pilar do que o tipo de cimento estudado. Além disso, ao considerar-se individualmente cada parâmetro ambiental verificou-se que não existem evidências sobre a melhor opção de pilar de concreto. Ao considerar-se a integração de todos os parâmetros analisados a melhor alternativa foi a do cimento tipo CP IV e nível de resistência característica de 50 MPa. As análises por unidade de resistência à compressão, por MPa, evidenciaram decréscimo médio de 64% no custo e impacto ambiental total quando o f_{ck} subiu de 30MPa para 50MPa. .

Palavras-chave: Concreto, sustentabilidade, análise do ciclo de vida, unidade funcional, custo do ciclo de vida

ABSTRACT

Master Thesis

Professional Graduation Program in Civil and Environmental Engineering

Universidade Federal de Santa Maria

**COMPARATIVE STUDY OF THE LIFE CYCLE AND COST OF
COLUMN WITH DIFFERENT CONCRETE MIXTURES**

AUTHOR: ALINE DE OLIVEIRA SILVA

ADVISER: GERALDO CEHELLA ISAIA

Defense Place and Date: Santa Maria, June 26th, 2014.

The sustainability of concrete structures is fundamental in search for sustainability in construction sector, since this material composed most of Brazilian works. Therefore, it is necessary information about environmental and economic performance of product to define the best strategy for each project. As from life cycle and costing assessment it is possible search and quantify the cost and environmental impact from each life cycle stage, cradle-to-grave, providing base to compare different products with the same function. This research used these tools to know the performance of a reinforced concrete column, cradle-to-gate, with two characteristic compressive strength, 30 and 50 MPa, and different concrete mixes, composed of three types of Portland cements: pozzolanic-compound (CP II-Z), pozzolanic (CP IV) and high early strength (CP V-ARI). It was concluded the strength level has more influence on the sustainability than the cement type, for the three studied ones. Furthermore, when considering each singly environmental parameter it was find that there was no best choice of pillar. When considering the integration of all parameters analyzed, the best alternative was CP-IV cement type and 50 MPa characteristic strength level. The unitary compressive strength analysis, per MPa, demonstrated 64% mean decrease for the cost and total environmental impact, when the characteristic strength increased from 30 MPa to 50 MPa.

Key words: Concrete, Sustainability, life cycle assessment, life cycle costing assessment, functional unit

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Desequilíbrio ecológico em lagos eutrofizados. (Adaptado de BRAGA et al., 2005).....	10
Figura 2 – Modelo genérico de ciclo de vida de um produto (Adaptado de TAN et al., 2008).....	14
Figura 3 – Previsão do crescimento populacional e demanda de concreto (Mehta e Monteiro 2008).....	25
Figura 4 – Diagrama da sustentabilidade e metodologias adequadas.	36
Figura 5 – Sistema relacionado ao pilar de concreto armado.....	37
Figura 6 – Distribuição granulométrica dos cimentos estudados.....	40
Figura 7 – Curva Granulométrica do agregado miúdo conforme ABNT NBR 7211:2009.....	41
Figura 8 – Curva Granulométrica do agregado graúdo conforme ABNT NBR 7211: 2009	42
Figura 9 – Curva de Abrams para os três tipos de cimento.....	45
Figura 10 – Mudanças climáticas.....	57
Figura 11 – Uso de recursos naturais.	58
Figura 12 – Consumo de energia.....	59
Figura 13 – Geração de resíduo.....	60
Figura 14 – Consumo de água.....	60
Figura 15 – Avaliação de danos ambientais potenciais.....	61
Figura 16 – Análise de sustentabilidade dos pilares, por pilar.....	66
Figura 17 – Análise de sustentabilidade dos pilares, por MPa.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos, origens e efeitos de alguns poluentes do ar. (adaptado de MILLER, 2007; VESILIND & MORGAN, 2004)	11
Tabela 2 – Ferramentas computacionais utilizadas para ACV (adaptado de LIBRELOTTO & JALALI 2008).	20
Tabela 3 – Diferenças entre CCV e ACV (adaptado de Guoguo,2009 e Norris, 2001)	22
Tabela 4 – Principais impactos ambientais decorrentes da atividade de mineração em algumas regiões do Brasil (adaptado de FARIAS, 2002).	28
Tabela 5 – Composição química dos cimentos – ensaio realizado pela ABCP.	39
Tabela 6 – Caracterização física e mecânicas dos cimentos.	39
Tabela 7 – Características físicas dos agregados.....	41
Tabela 8 – Caracterização dos aditivos.	43
Tabela 9 – Nomenclatura das famílias de concreto.....	44
Tabela 10 – Traços e resistência à compressão axial aos 28 dias para traçar a curva de Abrams.	45
Tabela 11 – Fatores de emissão do óleo Diesel (CONAMA 315/2002)	48
Tabela 12 – Emissões relacionadas a 1 L de diesel.....	48
Tabela 13 – Massa Atômica dos elementos químicos envolvidos na reação química do <i>slurry</i>	49
Tabela 14 – Massas molares do explosivo e dos produtos da reação química da mistura.	49
Tabela 15 – Substâncias químicas relacionadas a 1 g de explosivo.....	49
Tabela 16 – Fatores de emissão, provenientes da energia elétrica, de outubro de 2012 a setembro de 2013. (adaptado de BRASIL, 2013)	50
Tabela 17 – Emissões relacionadas a 1 kWh de energia elétrica.	50
Tabela 18 – Parâmetros para cálculo da seção do pilar de concreto (baseados em um projeto padrão)	53
Tabela 19 – Dimensões dos pilares	53
Tabela 20 – Traços definitivos e resistência à compressão axial aos 28 dias.	54
Tabela 21 – Quantidade de materiais por metro cúbico.....	54
Tabela 22 – Relação de cimento, clínquer e materiais secos por MPa.	54
Tabela 23 – Quantidade de materiais por pilar.....	55
Tabela 24 – Custo de cada alternativa de pilar.....	56

Tabela 25 – Relação de custo por MPa.	56
Tabela 26 – Contribuição de cada processo para os impactos, em percentagem.	62
Tabela 27 – Relação de impactos por MPa.	62
Tabela 28 – Valores reais e índices dos parâmetros avaliados, por pilar.	64
Tabela 29 – Valores reais e índices dos parâmetros avaliados, por MPa.	65
Tabela 30 – Gases e fatores de equivalência.	67
Tabela 31 – Gás carbônico equivalente total para cada pilar.	67
Tabela 32 – Gás carbônico equivalente e custo por unidade de resistência à compressão do concreto.	68

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A	Questionários AICV	83
Apêndice B	Cálculo dos fluxos elementares	91
Apêndice C	Composições unitárias de preços e materiais	100
Apêndice D	Inventário de emissões dos pilares estudados	109

LISTA DE ANEXOS

Anexo A – Composição de encargos sociais sobre preço da mão-de-obra horista do Estado do Rio Grande do Sul.	146
--	-----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Equipamentos, e seu consumo, utilizados para extração e britagem de pedras.	92
Quadro 2 – Percentual de obtenção de cada granulometria de brita.	92
Quadro 3 – Insumos para obtenção de 1 tonelada de brita 1.	93
Quadro 4 – Insumos para obtenção de 1 tonelada de areia média.....	94
Quadro 5 – Dados de mineração da jazida de calcário.....	94
Quadro 6 – Massa Atômica dos elementos químicos envolvidos na reação do TNT. ...	95
Quadro 7 – Massas molares do TNT e dos produtos de sua reação química.	95
Quadro 8 – Emissões relacionadas a 1 kg de explosivo TNT.	95
Quadro 9 – Resumo de dados da fabricação dos cimentos até a clínquerização.....	96
Quadro 10 – Consumo total de energia por cimento.	97
Quadro 11 – Composição do clínquer e dos cimentos.	98
Quadro 12 – Consumo de matérias primas e insumos para produção de uma tonelada de aço.....	99
Quadro 13 – Composição de fôrma para pilares com madeira compensada 12mm (coeficientes físicos: código 03110.8.2 da TCPO 13 – página 127)	101
Quadro 14 – Composição de armadura para pilar $\Phi 10$ – sem estribo (coeficientes físicos: código 03210.8.1.11 da TCPO 13 – página 150)	102
Quadro 15 – Composição de materias e custos do pilar de CP II-Z $f_{ck}=30$ (coeficientes físicos de betoneira e servente: código 03310.8.1 da TCPO 13 – página 152).....	103
Quadro 16 – Composição de materias e custos do pilar de CP II-Z $f_{ck}=50$ (coeficientes físicos de betoneira e servente: código 03310.8.1 da TCPO 13 – página 152).....	104
Quadro 17 – Composição de materias e custos do pilar de CP IV $f_{ck}=30$ (coeficientes físicos de betoneira e servente: código 03310.8.1 da TCPO 13 – página 152).....	105
Quadro 18 – Composição de materias e custos do pilar de CP IV $f_{ck}=50$ (coeficientes físicos de betoneira e servente: código 03310.8.1 da TCPO 13 – página 152).....	106
Quadro 19 – Composição de materias e custos do pilar de CP V-ARI $f_{ck}=30$ (coeficientes físicos de betoneira e servente: código 03310.8.1 da TCPO 13 – página 152).....	107
Quadro 20 – Composição de materias e custos do pilar de CP V-ARI $f_{ck}=50$ (coeficientes físicos de betoneira e servente: código 03310.8.1 da TCPO 13 – página 152).....	108
Quadro 21 – Inventário de emissões das seis alternativas de pilares.	110

Quadro 22 – Composição de encargos sociais da Secretaria de Obras Públicas do Estado do Rio Grande do Sul. 146

LISTA DE QUESTIONÁRIOS

Questionário 1 - Padrão – Empreendimento e equipe de trabalho.	84
Questionário 2 - Processo produtivo de pedra britada para concreto.	85
Questionário 3 – Extração da areia.....	88
Questionário 4 – transporte (distribuição).....	90

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo	3
1.1.1 Objetivo Geral.....	3
1.1.2 Objetivos específicos	3
1.2 Justificativa	4
1.3 Estrutura da Dissertação	6
CAPÍTULO 2	8
2 SUSTENTABILIDADE	8
2.1 Impactos Ambientais	8
2.1.1 Poluição no meio aquático	9
2.1.2 Poluição no meio terrestre.....	10
2.1.3 Poluição no meio atmosférico	11
2.2 Análise do Ciclo de Vida	13
2.2.1 Análise do Ciclo de Vida aplicada à Construção Civil	18
2.3 Análise de Custos do Ciclo de Vida	20
CAPÍTULO 3	23
3 SUSTENTABILIDADE DO CONCRETO	23
3.1 Cimento Portland	26
3.2 Agregados	28
3.3 Adições minerais e aditivos químicos	29
3.4 Dosagem	31
3.5 Resistência mecânica	33

CAPÍTULO 4	35
4 METODOLOGIA	35
4.1 Definição de objetivo e escopo	36
4.1.1 Materiais cimentícios	38
4.1.2 Agregados	40
4.1.3 Aditivos químicos redutores de água	42
4.1.4 Concreto	43
4.1.5 Impactos ambientais e preços.....	46
4.1.6 Software SimaPro	46
4.2 Análise de inventário do ciclo de vida	47
4.3 Avaliação de impactos do ciclo de vida	50
4.4 Interpretação do ciclo de vida	51
CAPÍTULO 5	53
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
5.1 Dimensionamento dos pilares	53
5.2 Dosagem do concreto	54
5.3 Composição unitária de quantidades e custos	55
5.4 Análise do ciclo de vida	56
5.5 Análise de Sustentabilidade dos Pilares	63
5.6 Análise da Pegada de Carbono	67
5.7 Comentários finais	68
6 CONCLUSÕES	69
7 REFERÊNCIAS	72
APÊNDICE A QUESTIONÁRIOS AICV	83

APÊNDICE B CÁLCULO DOS FLUXOS ELEMENTARES 91

APÊNDICE C COMPOSIÇÕES UNITÁRIAS DE PREÇOS E MATERIAIS .. 100

APÊNDICE D INVENTÁRIO DE EMISSÕES DOS PILARES ESTUDADOS 109

**ANEXO A – COMPOSIÇÃO DE ENCARGOS SOCIAIS SOBRE PREÇO DA
MÃO-DE-OBRA HORISTA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. 146**

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

O rápido avanço do capitalismo, impulsionado pela Revolução Industrial, ocorrida na segunda metade do século XVIII, resultou em um processo contínuo e crescente de exploração de recursos, fazendo com que se elevasse a retirada de matéria-prima da natureza e surgissem grandes volumes de resíduos; baseando-se na lógica da lei da conservação de massa.

Até meados do século XX, a humanidade não tinha a preocupação com o esgotamento dos recursos. Porém, com a crescente divulgação de problemas ambientais, no final desse século, surgiu a concepção de desenvolvimento sustentável, conceito formalizado no Relatório de *Brundtland*¹, em 1987.

Apesar disso, a sociedade vive em meio a uma crise ambiental que, segundo Braga et al. (2005), é causada pelo desequilíbrio entre população, recursos naturais e poluição. A indústria da construção civil colabora para o agravamento desta adversidade, pois consome grandes volumes de recursos naturais e faz uso intensivo de energia, para suprir a progressiva demanda por obras civis, devido ao crescimento populacional e desenvolvimento. Além disso, emite diferentes poluentes para o ar, o solo e a água.

A construção civil, aos poucos, vem buscando se adequar aos novos padrões de desenvolvimento, surgindo o termo “construção sustentável”. Não existe um consenso quanto a sua definição, cada grupo de especialistas julga diferentes critérios como indispensáveis para dizer que tal edificação é sustentável. Pode-se dizer que é necessário adotar um conjunto de práticas baseado em princípios ambientais e no uso eficiente dos recursos disponíveis, como é sugerido no relatório Agenda 21 para Construção Sustentável (CIB, 1999).

A primeira abordagem para construir de modo sustentável, de acordo com Keeler et al. (2010), é a escolha dos materiais. Uma cuidadosa definição dos componentes das estruturas de concreto, implica em diminuição da pegada ecológica do setor da construção civil, visto que esse modelo estrutural está presente na maioria das construções brasileiras.

¹ Documento elaborado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, que alerta aos países os riscos do uso descontrolado dos recursos naturais, sem se preocupar com a biocapacidade.

Nas estruturas de concreto, a determinação dos parâmetros técnicos influencia em sua composição e, conseqüentemente, na sustentabilidade do projeto. A especificação dos materiais pode alterar a dimensão do elemento estrutural, a sua vida útil, a resistência ao ataque de agentes agressivos, a quantidade de concreto e armadura necessários; variando o impacto do material sobre o meio ambiente. O maior impacto das estruturas de concreto é a emissão de dióxido de carbono, proveniente, principalmente, do processo de calcinação do carbonato de cálcio e do uso de combustíveis fósseis na produção de cimento. Portanto, a diminuição da quantidade de cimento por metro cúbico de concreto expressa a diminuição desse impacto.

A *Nordic Innovations Center* (2013) enunciou que as estruturas de concreto que apresentam o menor impacto possível, ao longo de seu ciclo de vida completo, e que atendem aos requisitos específicos de projeto, utilizando as propriedades intrínsecas do concreto, podem ser consideradas ambientalmente sustentáveis.

Para garantir o sucesso na tomada de decisão deve-se conhecer o desempenho ambiental dos componentes, sendo possível identificar fatores como energia inerente, composição, expectativa de vida, emissões e reciclabilidade. Portanto, é necessário fazer uma análise do ciclo de vida (ACV) do material. Esta ferramenta contribui para a detecção de impactos ambientais potenciais associados aos produtos, ao longo de seu ciclo de vida, abrangendo desde a etapa de extração da matéria-prima até o descarte, após o uso do produto.

Através da ACV, é possível alcançar resultados satisfatórios e equivalentes quanto ao impacto ambiental das emissões, da matéria prima usada e do consumo de energia; possibilitando a comparação entre dois produtos de mesma função.

Dado que a sustentabilidade não diz respeito apenas às causas ambientais e o aspecto econômico exerce grande influência nas escolhas, uma análise de custos do ciclo de vida (CCV) é pertinente para disponibilizar informações financeiras associadas a cada período do ciclo de vida do produto.

Esse panorama destaca a importância de se avaliar o impacto econômico dos materiais em longo prazo, pois custo inicial inferior, não implica em menor custo do ciclo de vida. Por exemplo, o uso de concreto de alta resistência em edificações pode representar um custo inicial elevado em relação ao concreto convencional, porém resistências mais elevadas propiciam estruturas de melhor desempenho e maior vida útil, diminuindo gastos com manutenção e, em longo prazo, torna-se a alternativa mais econômica, principalmente pelo uso de menor volume total de concreto e maior disponibilidade de espaços úteis.

Por intermédio da integração de ACV e CCV pode-se obter as melhores soluções ambientais com o menor custo, tornando as propostas sustentáveis atraentes ao consumidor.

Dados estatísticos mostram que apesar de mais da metade da população se preocupar com o planeta, menos de um terço está disposta a gastar mais com essas causas (LIPPIATT, 2002).

Portanto, é fundamental conhecer os aspectos ambientais e econômicos associados a diferentes possibilidades para um mesmo projeto estrutural, variando o traço de concreto e seus materiais componentes, o nível de resistência característica, a geometria da seção e/ou a taxa de armadura. É importante que se faça a escolha adequada da unidade funcional, parâmetro de comparação entre alternativas distintas, para que se possa determinar a melhor solução para cada projeto específico.

O desafio para a consolidação da sustentabilidade é identificar as causas, para todas as consequências ambientais geradas, e a sua solução mais adequada, refletindo os aspectos ambientais, econômicos e sociais.

Essa pesquisa faz parte de um projeto, composto por quatro dissertações, cada uma abrangendo uma etapa do ciclo de vida, para, ao final, englobar o ciclo completo do pilar. Portanto, a análise completa do ciclo de vida está dividida em: berço ao portão; portão ao túmulo para ambiente exposto à carbonatação e portão ao túmulo para ambientes expostos à penetração de cloretos; e berço ao berço, com o uso de agregados reciclados de concreto e de resíduos de construção e demolição em substituição parcial aos agregados naturais.

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo Geral

Este estudo tem como objetivos gerais analisar a sustentabilidade de um pilar de concreto armado executado com três cimentos e duas resistências características, de uma edificação localizada na cidade de Santa Maria - Rio Grande do Sul, através da análise do ciclo de vida e do custo do ciclo de vida parciais da peça estrutural, compreendendo as fases de obtenção/fabricação, transportes, e processamento das matérias-primas até a execução do pilar em obra (*cradle-to-gate*: do berço ao portão).

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- i. Calcular a seção transversal de concreto e armadura de aço, para o pilar em estudo, para cada uma das resistências características escolhidas;
- ii. Determinar as quantidades de madeira e de aço necessários para a execução da forma e armadura de cada um dos pilares com resistências diferentes;
- iii. Definir os parâmetros ambientais para a análise do ciclo de vida;

- iv. Comparar os impactos ambientais associados a cada um dos traços de concreto;
- v. Comparar a demanda por materiais de cada um dos pilares com diferentes resistências características;
- vi. Realizar o inventário do Ciclo de Vida para quantificação de todos os fluxos dentro de cada etapa de produção das matérias primas ou dos produtos, para cada traço de concreto;
- vii. Comparar os efeitos conjuntos dos impactos ambientais baseados no impacto total ponderado de cada produto ou variável de estudo do pilar de concreto;
- viii. Calcular os custos do ciclo de vida de cada traço de concreto, para cada pilar;
- ix. Selecionar a melhor alternativa com a melhor relação entre o custo financeiro e o custo ambiental.

1.2 Justificativa

A falta de informações relacionadas ao desempenho ambiental, dos materiais componentes das estruturas, limita as alternativas para diminuir a pegada ecológica do setor da Construção Civil. A criação de um banco de dados possibilitaria a especificação de soluções mais adequadas para cada tipo de edificação, além de identificar oportunidades de melhorias.

A Construção Civil é responsável pelo consumo intenso de recursos naturais e gera milhões de toneladas de resíduos. No Brasil, por exemplo, em 2011, foram consumidos aproximadamente 700 milhões de toneladas de agregados naturais, segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (BRASIL, 2012).

Quanto aos resíduos, o relatório “Panorama de resíduos sólidos do Brasil 2012”, (ABRELPE, 2013), mostra a quantidade de resíduo de construção e demolição coletada no ano de 2012, somando $112.248 \text{ t.dia}^{-1}$, em média. A pesquisa abrange apenas a porção de resíduos coletados pelo serviço público, pois a maioria dos municípios envolvidos não divulga os dados da coleta provenientes de gestões privadas. Segundo Mano et al. (2005), os resíduos provenientes da construção civil são constituídos por aproximadamente: 50% concreto, 12% madeira, 10% cerâmica, 4% de painéis/divisórias, 3% de ferro/aço, 2% de plástico e os 19% restantes de outros materiais.

O desenvolvimento social ocorrido nos últimos anos e o crescimento populacional gerou demandas crescentes por obras civis. Conseqüentemente, aumentou a demanda por concreto, visto que é o material de construção mais utilizado. Em 2012 foram produzidos 3,7 bilhões toneladas de cimento em todo o mundo, sendo o Brasil responsável pela produção de 70 milhões de toneladas, segundo o relatório de minerais do *U.S. Geological Survey National Minerals*

Information Center (USGS, 2013). A produção de cimento supera o consumo de alimento, segundo Agopyan et al. (2011).

O cimento é o componente com maior impacto ambiental na produção do concreto. A indústria do cimento é responsável pela emissão de diversos gases e poeira, no qual o lançamento de dióxido de carbono é o mais volumoso; pelo uso intenso de energia, em especial, no alto forno; por modificações no relevo, principalmente, pela extração de calcário; e pela disseminação de contaminantes, pelo uso de resíduos industriais; entre outros. Tais impactos podem ser reduzidos através do co-processamento¹ nas cimenteiras e pela minimização do teor de clínquer, fazendo uso de adições minerais.

O concreto estrutural é considerado mais ecológico comparado aos demais materiais de construção, porém Meyer (2009) afirma que a indústria do concreto tem um longo caminho para conseguir reduzir sua interferência no meio ambiente. O impacto que sua produção causa é bastante significativo; modifica o clima, o relevo, a paisagem, tem potencial cancerígeno, de acidificação do solo, eutrofização de cursos d'água; emite substâncias orgânicas e inorgânicas que podem causar problemas respiratórios.

De acordo com Silva (2010), o dióxido de carbono e o “negro de fumo” são as emissões que se destacam na fabricação desse material, afetando as categorias de impacto de mudanças climáticas e problemas respiratórios, respectivamente. Além disso, é responsável pelo consumo de grandes quantidades de matéria-prima como areia, pedra e água tratada.

Os danos potenciais, causados pelo consumo de concreto, podem ser reduzidos, por exemplo, através da seleção dos materiais da região, evitando grandes distâncias de transporte; do aumento da vida útil das estruturas, necessitando menor reparo e substituição dos produtos; da desmaterialização por aumento de resistência característica ou pela diminuição de perdas na execução da estrutura, diminuindo a demanda por materiais. Para definir a melhor estratégia é fundamental conhecer o desempenho ambiental e econômico, a fim de estabelecer aquela com o melhor custo e o menor impacto ambiental potencial.

Sem o mapeamento desses dados, é difícil apontar o “gargalo” das cadeias produtivas da indústria do concreto. Uma análise detalhada das estruturas, seus componentes e sua interação é fundamental, pois propicia uma visão ampla das variáveis envolvidas em todo seu ciclo de vida, ou seja, nos processos de extração, fabricação, distribuição, utilização, demolição e destinação final do material.

¹ Co-processamento: é uma destinação final ambientalmente adequada de resíduos em fornos de cimento com o aproveitamento da energia contida nestes materiais e/ou substituição das matérias-primas e operação regulamentada e licenciada por órgãos ambientais competentes (Wikipédia, 2014).

O concreto é um material que varia seus constituintes de acordo com sua aplicação e seu comportamento ao longo da vida útil depende, além de sua composição, do meio no qual está inserido. Portanto, é difícil avaliar seu ciclo de vida completo de modo genérico, sem especificar sua função. Assim sendo, definiu-se o estudo de um elemento estrutural.

Para identificar o desempenho das estruturas, torna-se necessário utilizar uma metodologia adequada para mapear e quantificar os aspectos e impactos ambientais e econômicos associados a cada alternativa, pois conhecendo os indicadores de cada estágio do ciclo de vida é possível traçar metas e estratégias mais eficientes para reduzi-los.

Ao comparar dois produtos de mesma função, com a ajuda da análise do inventário do ciclo de vida (AICV), verifica-se qual o produto de melhor desempenho ambiental. Se esse desempenho for desconhecido, é possível que, ao invés de minimizar a interferência negativa do produto na natureza, seja gerado outro dano, ou seja, resolve um problema ao mesmo tempo que intensifica outro.

A análise do ciclo de vida é uma ferramenta básica na busca pela sustentabilidade na construção, visto que as decisões tomadas a partir da AICV ajudam a indicar o quanto uma obra é sustentável (ASCE, 2004).

Além disso, o custo de cada alternativa é importante para alcançar uma solução mais sustentável. Resultando na necessidade de uma análise de custos do ciclo de vida, pois a meta é aliar a solução com menor impacto potencial e melhor custo, ou seja, a melhor relação custo-benefício; por meio da determinação de indicadores que correlacionam parâmetros ambientais, econômicos e técnicos.

Entre os empecilhos para o progresso, a presente pesquisa visa contribuir positivamente para as questões relacionadas ao atraso do mercado, através do desenvolvimento de novos estudos; dados insuficientes, pela coleta, processamento, análise e divulgação de informações referentes aos componentes do concreto; e falta de cliente, buscando combinar em um produto o menor custo com os menores impactos ambientais potenciais possíveis.

1.3 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está dividida em 6 capítulos e utiliza-se de apêndices e anexos para melhor apresentar os métodos e resultados, para que a leitura não seja interrompida frequentemente por tabelas e quadros.

No capítulo 1 contextualiza-se o tema proposto, indica-se os objetivos a serem alcançados e descreve-se a relevância de se pesquisar na área determinada.

O capítulo 2 traz um panorama da temática de sustentabilidade, que apresenta os impactos ambientais, em cada compartimento e duas ferramentas de gestão ambiental: análise do ciclo de vida e análise de custo do ciclo de vida.

No capítulo 3 é tratado sobre a sustentabilidade do concreto, através da caracterização da contribuição de cada material, da dosagem e da determinação do nível de resistência característica à compressão de projeto para a sustentabilidade das peças de concreto.

O capítulo 4 descreve a sistematização do método e os pressupostos adotados para realizar esse estudo. Já o capítulo 5 mostra os resultados comentados e discutidos.

O capítulo 6 encerra a dissertação com conclusões e considerações finais, baseadas nas análises e teorias descritas nos capítulos anteriores. Além da sugestão para estudos futuros.

CAPÍTULO 2

2 SUSTENTABILIDADE

Atualmente um dos maiores desafios científicos é adequar os produtos, serviços e tecnologias aos requisitos de sustentabilidade.

Há necessidade de uma abordagem holística, ou seja, visualizar que aquele processo, aquela parte específica, está inserida em um todo. A construção civil faz parte da cadeia produtiva de uma sociedade, portanto, além de fornecer infraestrutura para a mesma, precisa se preocupar, por exemplo, com a conservação dos recursos naturais, a energia consumida e os resíduos gerados.

A Construção Civil exerce impacto significativo sobre a eficiência ambiental, pois promove modificações no meio ambiente para implantar suas obras, utiliza-se de toneladas de recursos naturais não renováveis como materiais de construção, gera grandes volumes de resíduos e emissões atmosféricas, prejudica a drenagem urbana devido à impermeabilização de grandes áreas, entre outros impactos.

Sabendo dos danos resultantes das obras de engenharia, Costa (1999) afirma que para toda elaboração e análise de projetos de infraestrutura ou edificação os impactos ambientais devem ser considerados. Soares et. al (2006) citam as emissões atmosféricas, o consumo de recursos naturais, demandas energéticas e geração de resíduos sólidos e líquidos como as principais classes de impactos ambientais utilizados para avaliar esses expressivos danos.

2.1 Impactos Ambientais

Entende-se como impacto ambiental, segundo Mota (2000), qualquer alteração significativa causada ao meio ambiente, tanto pela ação antrópica² quanto por fenômenos naturais, ou seja, são mudanças que causam o desequilíbrio do ecossistema. Fenômenos como terremotos, enchentes, incêndios florestais, vulcões e tsunamis são exemplos de impactos de origens naturais. Os danos ambientais causados pela ação do homem são caracterizados por emissões de gases e resíduos para o ar e o solo. Entretanto, podem acontecer fenômenos naturais decorrentes de ações antrópicas.

Nesse estudo abordam-se os impactos relacionados a poluição em cada um dos meios físicos: água, ar e solo.

²Ação antrópica é a ação do homem sobre o habitat e as modificações dela resultantes.

2.1.1 Poluição no meio aquático

A água cobre 71% da superfície terrestre, mas apenas 2,6% de água estão disponíveis para o consumo humano. De acordo com Miller (2007), a água é um recurso renovável, é continuamente coletada, purificada, reciclada e distribuída no ciclo hidrológico. O despejo de resíduos não degradáveis, ou de degradação lenta, bem como outras interferências no sistema, sobrecarregam o corpo hídrico, exigindo mais do que sua própria capacidade de renovação. Braga et al. (2005) indicam que as principais fontes de poluição são: poluentes orgânicos biodegradáveis; matéria orgânica para decompositores; poluentes orgânicos recalcitrantes ou refratários; defensivos agrícolas, detergentes sintéticos, petróleo; nutrientes (nitrogênio e fósforo); metais solubilizados com potencial tóxico; organismos patogênicos e sólidos em suspensão.

Mota (2000) lista alguns impactos que estas interferências podem ocasionar, tais como: prejuízos ao abastecimento humano, prejuízos a outros usos da água, agravamento dos problemas de falta de água potável, aumento do custo do tratamento de água, assoreamento dos mananciais e degradação da paisagem. Nos recursos hídricos a poluição pode interferir, segundo Vesilind et al. (1994), na quantidade de luz que penetra nos ecossistemas aquáticos, na temperatura, na concentração de oxigênio dissolvido (OD), no aumento de outras substâncias químicas, na concentração de nutrientes. O enriquecimento das águas com nutrientes é denominado eutrofização.

De acordo com Braga et al. (2005), a eutrofização é um processo natural de maturação do ecossistema. Um corpo hídrico eutrofizado contém altos índices de nutrientes que reduzem a penetração de luz, diminuem a concentração de OD e aumentam o número de algas. Esse processo resulta em um desequilíbrio ecológico, ilustrado na Figura 1, através do qual esses autores explicam as principais consequências da eutrofização; o lago fica dividido em duas camadas: a superior, onde há produção de oxigênio por algas e a inferior, onde o oxigênio é consumido por decompositores. A massa orgânica é tanta que falta oxigênio para os peixes, ocasionando a morte dessa espécie mais exigente. Haverá oxigênio disponível apenas em uma camada superficial delgada, dominada pelas algas e a camada inferior passa a ser anóxica. Com a falta de oxigênio a recirculação do fósforo é facilitada, passando a fosfato ferroso, $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$, que é solúvel na água.

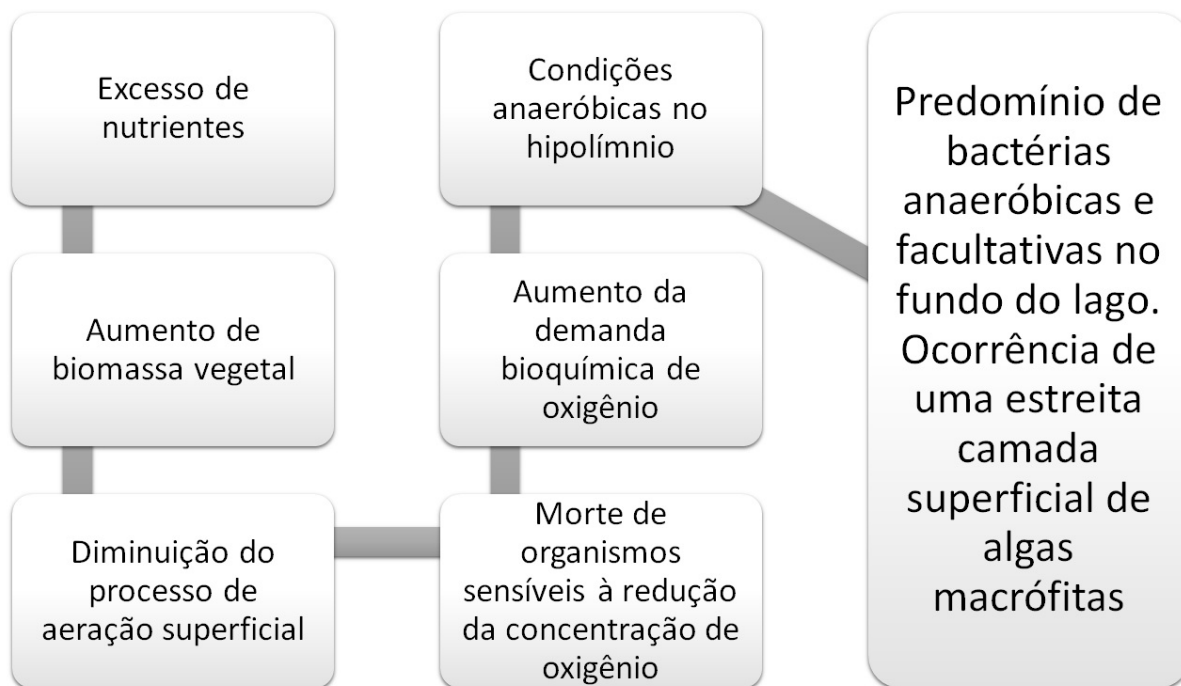


Figura 1- Desequilíbrio ecológico em lagos eutrofizados. (Adaptado de BRAGA et al., 2005)

As consequências do processo de eutrofização são divididas em duas categorias, segundo Braga et al. (2005):

- Impactos sobre o ecossistema e a qualidade da água;
- Impactos sobre a utilização dos recursos hídricos;

2.1.2 Poluição no meio terrestre

O solo demora séculos para se modificar naturalmente, conforme Mota (2000), mas para ser destruído pela ação do homem leva apenas alguns anos. As atividades desenvolvidas pela humanidade podem degradar o solo, ocasionando modificações físicas ou químicas. A poluição do solo pode eliminar organismos importantes para a região em questão, além de transformar áreas extensas em locais improdutivos.

Os resíduos sólidos geram grandes impactos ambientais. Ocupam terras e solos produtivos quando direcionados para aterros sanitários e podem degradar lençóis freáticos e as terras e solos agrícolas do entorno, de acordo com Keeler et al. (2010). Porém, o lixo pode ser visto como um recurso quando coletado, recuperado, reutilizado e reciclado.

Existem diferentes tipos de resíduos, para cada uma das classes há uma definição de como manusear, acondicionar, coletar, transportar e dispor esses resíduos. A norma brasileira NBR 10.004 (ABNT, 2004) classifica os resíduos em três categorias:

- Resíduos Classe I ou Perigosos: aqueles que podem causar riscos à saúde pública;
- Resíduos Classe II-A ou Não Inertes: aqueles que não se enquadram em nenhuma das outras classes;
- Resíduos Classe II-B ou Inertes: aqueles que não contêm nenhum componente solubilizado em concentração superior ao padrão.

Os resíduos gerados na construção civil caracterizam-se como classe II-B.

2.1.3 Poluição no meio atmosférico

A poluição atmosférica é caracterizada por concentrações altas de substâncias químicas que podem ocasionar impactos ambientais e na saúde dos seres humanos. A origem dessas contaminações pode ser natural ou antrópica. Segundo Miller (2007), as poluições naturais ocorrem devido a incêndios florestais, erupções vulcânicas, decomposição de matéria orgânica, entre outros, sendo fontes espalhadas, e, por isso, dificilmente atingem proporções nocivas.

Os principais poluentes gerados pela ação do homem advêm da queima de combustíveis fósseis em veículos, usinas elétricas e indústrias. Essas emissões ocorrem de forma mais concentrada em centros urbanos, devido ao grande número de automóveis e indústrias.

Segundo Branco (1995), a poluição atmosférica é um problema grave para a saúde humana. Com base nessa informação, foram realizados estudos toxicológicos a fim de conhecer os níveis de emissões que não fossem prejudiciais à saúde humana, tendo-se estabelecido os Padrões de Qualidade do Ar (PQAR). Para cada substância há um limite de emissão, pois os contaminantes atingem a saúde de formas distintas. Na Tabela 1 são apresentadas algumas substâncias que são lançadas na atmosfera, suas principais origens e algumas consequências na saúde humana e no ecossistema.

Tabela 1 – Tipos, origens e efeitos de alguns poluentes do ar. (adaptado de MILLER, 2007; VESILIND & MORGAN, 2004)

Substância	Fórmula	Origem	Efeitos
Monóxido de Carbono	CO	Produto da combustão incompleta.	Tóxico; Destruição de hemoglobina; Náuseas; Ataque cardíaco.
Dióxido de Carbono	CO ₂	Formado durante a combustão completa.	Gás de efeito estufa
Hidrocarbonetos	C, H ou HC	Indústrias e automóveis.	Tóxicos.

Tabela 1 – Tipos, origens e efeitos de alguns poluentes do ar. (adaptado de MILLER, 2007; VESILIND & MORGAN, 2004) – (Continuação)

Substância	Fórmula	Origem	Efeitos
Dióxido de Nitrogênio	NO ₂	Indústrias e automóveis.	Principal componente na formação do smog fotoquímico. Agrava rinite crônica; aumenta a susceptibilidade de infecções respiratórias, gripes e resfriados.
Material Particulado	MP	Indústrias, usinas elétricas, automóveis, agricultura, estradas não pavimentadas, construções.	Danos ao pulmão; agrava asma e bronquite; Podem causar mutações, problemas reprodutivos e câncer. Reduz a visibilidade; pode danificar vegetação, solo e vida aquática.
Carbono preto: “negro de fumo”	C	Indústrias e automóveis.	Irritações na pele e olhos; Problemas respiratórios.

A atmosfera é composta por gases que absorvem parte dos raios infravermelhos oriundos do sol, radiação que se manifesta sob a forma de calor. Esses gases são chamados de gases de efeito estufa. Com o aumento da concentração deles, o ar acaba absorvendo mais calor e, conseqüentemente, a temperatura global se eleva.

Mano et al. (2005) comentam que se os níveis de gases de efeito estufa estiverem altos por muito tempo, o planeta Terra se tornará muito quente para a manutenção da vida. Não se sabe exatamente os efeitos que esse superaquecimento poderá causar, mas as previsões indicam que os fenômenos climáticos serão mais intensos, os ecossistemas serão modificados devido à degradação da natureza, haverá escassez de água e os níveis médios dos mares ficarão elevados.

O Protocolo de Quioto, que entrou em vigor em 2005 e expirou em 2012, teve como meta reduzir cerca de 5,2% as emissões de gases do efeito estufa, em relação a 1990, de cada país integrante do tratado. A maioria dos países obteve sucesso, porém a crescente emanção de gases por parte de países em desenvolvimento fez com que os resultados atingidos não resultassem na desaceleração das emissões mundiais.

Os gases dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrocarbonetos fluorados (HFC), hidrocarbonetos perfluorados (PFC) e hexafluoreto de enxofre (SF₆) eram o escopo do protocolo, no qual o CO₂ e CH₄ eram os mais relevantes.

2.2 Análise do Ciclo de Vida

Nas últimas décadas a preocupação com os impactos ambientais gerados pelo consumo de bens e serviços tem estimulado o desenvolvimento de novas tecnologias para a compreensão, controle e/ou redução desses danos ambientais. Segundo Lee et al. (1995), a Análise do Ciclo de Vida (ACV) surgiu em resposta à essa preocupação com a contínua degradação do meio ambiente.

De acordo com Olsen et al. (2001), a ACV é um método iterativo de avaliação do impacto ambiental completo de um produto, desde sua extração até seu descarte. Todo produto gera impactos ambientais, independentemente de sua composição. Esses impactos estão associados a cada um dos estágios de um ciclo de vida, inclusive as etapas posteriores ao descarte, pois cada fase interfere de alguma maneira no equilíbrio ambiental.

Segundo Tan et al. (2008), a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) definiu um modelo genérico de ciclo de vida de um produto, representado na Figura 2. As etapas que compõem esse modelo são:

- Aquisição da matéria-prima: considera a extração e a energia liberada no processo;
- Processamento e manufatura: engloba as atividades necessárias para transformar matéria-prima em produto, inclusive o consumo de energia;
- Distribuição e transporte: diz respeito à remessa de produtos destinada aos consumidores;
- Uso, reuso e manutenção: contempla a utilização do produto durante sua vida útil;
- Reciclagem: a fase quando o produto deixa de ter a função pela qual foi criado e é reaproveitado;
- Gerenciamento de resíduo: monitoramento de quando o produto não é mais utilizado e volta para o meio ambiente na forma de resíduo.

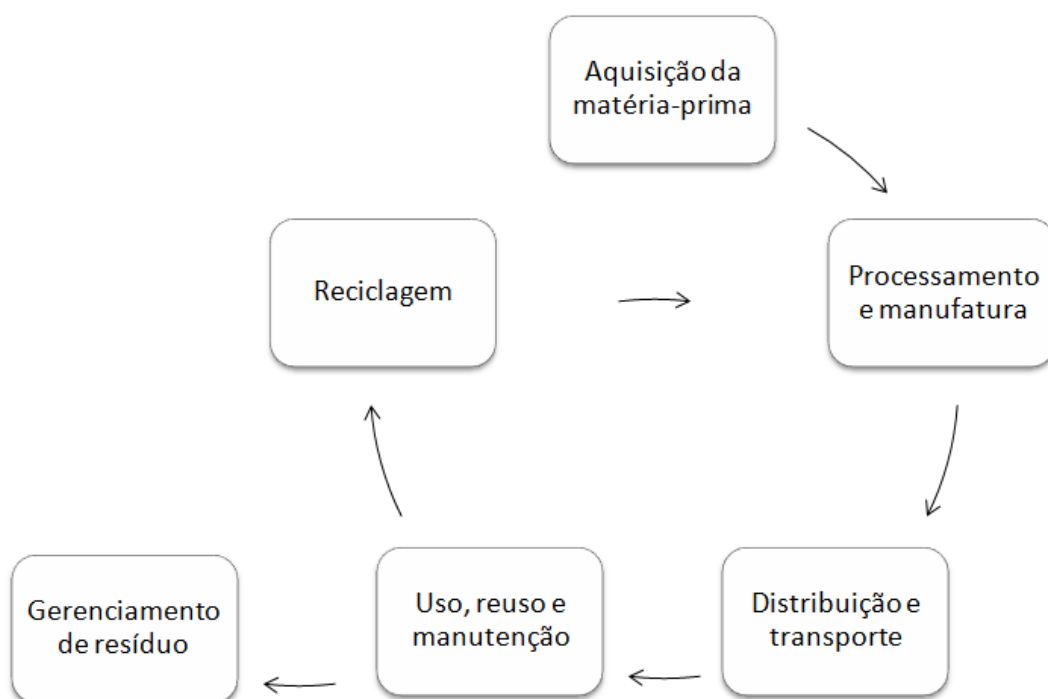


Figura 2 – Modelo genérico de ciclo de vida de um produto (Adaptado de TAN et al., 2008).

De acordo com Tan et al. (2008), a análise do ciclo de vida tem como foco investigar todo o ciclo de vida de um produto, apesar disso, é possível avaliá-lo por partes. Quando se analisa esse ciclo por completo pode-se dizer que o produto foi avaliado “do berço ao túmulo” (*cradle-to-grave*). Quando a análise é feita de forma parcial ela pode ser feita de três maneiras: do “berço” a um ponto qualquer (*cradle-to-gate*, por exemplo), de um ponto qualquer até o “túmulo” ou de um ponto qualquer a outro.

Através desse estudo do ciclo de vida torna-se possível identificar e quantificar o consumo de recursos, inclusive energia, bem como a poluição gerada no ar, na água e no solo. Baseado nesses dados é possível avaliar as contribuições nos impactos ambientais com o uso desses recursos e os diversos danos causados pela poluição gerada nesse processo. Além de apontar em qual fase um determinado produto causa maiores danos ao meio ambiente e onde foi o maior consumo de material e energia.

Chehebe (1998) lista alguns dos benefícios trazidos pela aplicação dessa ferramenta: a identificação de oportunidades de melhoria dos aspectos ambientais considerando todo consumo do produto; a avaliação do desempenho ambiental; a contribuição em meio a uma escolha de indicadores ambientais de um projeto; o melhor entendimento dos aspectos ambientais relacionados à manufatura.

Segundo Sonnemann et al. (2004) não se sabe ao certo quando os estudos da ACV iniciaram-se, pois há divergências entre vários escritores de diferentes linhas de pesquisa relacionadas ao assunto. Porém Tan et al. (2008) e Joanello (2009) dizem que o primeiro estudo sobre o ciclo de vida foi realizado pelo *Midwest Research Institute* (MRI) na década de 1960, custeado pela empresa Coca-Cola, para comparar diferentes embalagens e determinar aquela com melhor desempenho ambiental.

O modelo utilizado nessa pesquisa ficou conhecido como *Resource and Environmental Profile Analysis* (REPA). Posteriormente, no decorrer de um estudo para a *Environmental Protection Agency* (EPA) conduzido pela MRI, o método foi aperfeiçoado e é a base daquele adotado atualmente. A *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) continuou a desenvolver os critérios e metodologia da ACV.

Chehebe (1998) destaca que durante a década de 1980, alguns ambientalistas discutiam a necessidade de uma visão holística para os problemas ambientais relacionados aos produtos, pois acreditavam que as etapas do processamento e manufatura não eram as únicas responsáveis pela poluição, o ato de consumir agredia o meio em crescentes proporções.

Na mesma década, a Comunidade Econômica Europeia impôs às organizações na área de alimentos o gerenciamento do consumo de matérias-primas e de resíduos gerados na manufatura das embalagens. Essa atitude fez com que pesquisas voltassem a ser desenvolvidas para enriquecer a metodologia de análise dos impactos.

A chegada dessa ferramenta nas indústrias a princípio foi distorcida, pois as empresas estavam determinadas em se defender das acusações ambientais vindas de concorrentes. Apesar disso, algumas companhias já estavam incorporando a cultura da preocupação com o ecossistema em sua produção e posteriormente encontraram na ACV uma maneira mais completa para analisar o desempenho de seus produtos.

Devido ao mau uso da ACV, no final do século XX, tornou-se necessário padronizar uma metodologia para sanar os exageros cometidos e não comprometer a imagem desse modo de avaliação. De acordo com Sonnemann et. al. (2004) no início dos anos 1990 a SETAC publicou os primeiros códigos e práticas.

Com a padronização da metodologia, a *International Organization for Standardization* (ISO) lançou a norma ISO 14040, em 1997, definindo quatro fases para a avaliação: Definição do objetivo e escopo; Análise do inventário do ciclo de vida; Avaliação de impactos; Interpretação.

Na primeira fase definem-se os objetivos e a abrangência do estudo. De acordo com Lee et al. (1995), o primeiro desafio é definir início e fim do estudo, o que nem sempre é fácil.

Segundo Chehebe (1998), na medida em que o trabalho vai avançando é possível reformular essa definição, é interessante destacar que essa descrição é preliminar, pois a própria pesquisa tornará necessária a reformulação.

A definição do objetivo e escopo é desdobrada da seguinte maneira:

- **Objetivo:** deve-se especificar a razão pela qual o estudo será realizado. É importante que isso seja feito de forma clara, pois o propósito do estudo serve como base para todas as etapas da análise;
- **Escopo:** refere-se ao estabelecimento da abrangência, considerações e unidade funcional do sistema. É necessário defini-lo com muito cuidado, pois há limitações de recursos financeiros e tempo, além de que detalhes com maior profundidade adicionam complexidade ao estudo. Os dois aspectos mais importantes dessa subfase são: a unidade funcional, que é a unidade definida em função das características do produto, para mensurar o desempenho ambiental do mesmo. É usada para estabelecer uma comparação entre dois produtos de mesma função e para relacionar dados de entrada e saída; e a fronteira do sistema, que estabelece os processos elementares que serão abordados. Os critérios utilizados para essa delimitação estão diretamente relacionados ao grau de confiança dos resultados.

Curran (2006), completa que esta etapa define tempo e recursos necessários para se desenvolver o estudo, além de guiar a análise para se obter resultados consistentes.

A análise do inventário do ciclo de vida é, segundo Soares et. al (2006), a etapa na qual se coletam os dados e indicam-se os impactos ambientais envolvidos no ciclo de vida do produto, processo ou atividade estudada.

Para realizar essa etapa preparam-se questionários que representem o sistema de produto e que contenham descrições das unidades de processo, das categorias de impacto, do modelo adotado para avaliação do ciclo de vida e a unidade funcional. Posteriormente, são realizados cálculos de validação dos dados coletados, correlação dos dados aos processos elementares e correlação dos dados à unidade funcional e aos fluxos de referência, ou seja, relacionam-se os dados obtidos nessa etapa com os parâmetros estabelecidos na etapa anterior.

Joanello (2009) cita que o ciclo de vida é representado por uma árvore de processos com fluxos de entrada e saída. Baseado nas informações contidas nessa árvore é possível montar a planilha de impactos potenciais.

Na terceira etapa da análise do ciclo de vida os danos ambientais apontados na fase anterior serão classificados em categorias de impactos segundo o modelo de avaliação selecionado. Existem diferentes modelos de avaliação, alguns deles são:

- Escassez Ecológica: foi desenvolvido na Suíça, segundo *Sustainability Quick Check Tools for Biofuels (SQCB)* (2012), é um método de estimativa do impacto ambiental e valores limites baseado nas normas suíças. Além disso, é um método mais geral, através do qual se obtém uma única medida de impacto;
- Problemas Ambientais: segundo Lippiatt (2002), esse método possui duas etapas, a etapa de caracterização dos fluxos que contribuem para impactos ambientais específicos e a segunda etapa de caracterização da contribuição potencial de cada fluxo. Atribui grau de relevância diferenciado para cada impacto;
- Eco-Indicador 99: tem foco nos danos causados. De acordo com Goedkoop (2001) é possível utilizar esse modelo de duas maneiras: como uma metodologia que transforma os dados de um inventário em pontuação e como um método para calcular um indicador-padrão para vários materiais e processos usados com frequência.

Depois de agrupar os dados, é selecionado para cada classe um indicador de categoria e é calculado o resultado do indicador. Essa fase produz informações acerca dos aspectos ambientais relacionados às entradas e saídas do sistema de produto, que é o conjunto de processos elementares.

Sonnemann et al. (2004) complementam que através dessa avaliação é possível entender melhor o desempenho ambiental do produto, pois para cada classe de impacto é possível calcular os indicadores de impactos potenciais associados a cada estágio do ciclo de vida. Portanto é na avaliação de impactos do ciclo de vida que se associa de fato causa e efeito. A UNEP/SETAC (2009) destaca que é preciso associar com precisão as causas e os efeitos para obter um bom modelo.

A interpretação do ciclo de vida é, de acordo com Curran (2006), a técnica para identificar, determinar, verificar e avaliar as informações resultantes do inventário do ciclo de vida e da avaliação do ciclo de vida. Esta é a última fase do processo de ACV.

A norma ISO NBR 14.040 (ABNT, 2009) estabelece dois objetivos para esta etapa:

- Analisar os resultados, tirar conclusões, fornecer recomendações, explicar as limitações do estudo e relatar estes resultados;

- Apresentar os resultados, de acordo com o objetivo e escopo, de maneira transparente, compreensível, completa e consistente.

Scientific Applications International Corporation (SAIC) (2006) comenta que no decorrer de uma ACV é necessário fazer estimativas, suposições e tomar decisões baseadas nessas hipóteses, portanto, é importante comunicá-las de forma clara nos resultados finais, pois, dessa maneira os prós e contras de cada alternativa, em uma comparação de inventários de um produto, tornam-se mais evidentes.

A norma NBR ISO 14044 (ABNT, 2009) estabelece que sejam disponibilizadas todas as informações e dados necessários para a interpretação dos resultados, além disso deve-se explicar de que forma os resultados são afetados pelas incertezas.

2.2.1 Análise do Ciclo de Vida aplicada à Construção Civil

A indústria da construção, de acordo com Silva (2003), tem usado essa ferramenta direta e indiretamente, por exemplo, para avaliação de materiais de construção, rotulagem ambiental de produtos e certificação ambiental.

A técnica da ACV foi desenvolvida para analisar produtos com vida útil relativamente curta, porém a vida útil dos produtos contidos em uma edificação é extensa. Portanto, segundo Soares et al. (2006), detecta-se a necessidade de adaptação da análise para um novo contexto estrutural e temporal.

A norma técnica EN 15804 (BRE, 2012) traça diretrizes para a declaração ambiental de produtos da construção civil, com o objetivo de fornecer uma maneira adequada de coletar, mensurar e verificar os dados, assim como a apresentação dos resultados de modo a informar o desempenho ambiental para fim de comparações.

Na construção civil há uma grande variedade de campos de aplicação da avaliação do ciclo de vida em edificações e elementos construtivos. Já foram realizados estudos com vários elementos construtivos, como por exemplo, janelas de PVC, janelas de alumínio, sistemas estruturais de madeira, aço e concreto, nesses o consumo de matéria-prima e energia é analisado juntamente com os impactos ambientais gerados na manufatura dos componentes, destaca Soares et al. (2006).

A proposta de utilizar a ACV é de criar um banco de dados com inventários elementares de diferentes materiais, produtos e componentes de mesma função ou não, utilizados nas edificações. Dessa forma, será acessível avaliar os impactos do ciclo de vida de cada obra e na concepção do projeto será possível escolher os materiais com melhor desempenho ambiental.

Soares et al. (2002) desenvolveram uma análise do ciclo de vida de 1 m² de tijolos (com 1,5 cm de rejunto), telhas e revestimentos cerâmicos (sem rejunte), da extração da argila até o carregamento do caminho para expedição. Os inventários foram levantados em um ciclo de produção completo em quatro empresas e comparados. Concluíram que o fluxo de material depende, principalmente, da condição tecnológica da fábrica, da estrutura gerencial e ao fluxo de produção.

Cybis et al. (2000) fizeram um estudo de caso aplicando o ACV em um condomínio horizontal composto por oito casas de alvenaria. A unidade funcional adotada foi o total de parede de alvenaria, totalizando 2.514 m², com objetivo de conhecer o desempenho ambiental. Consideraram-se dados de tijolos, areia, água e cimento, além do transporte. Concluíram que a execução de alvenaria contribui para a formação de vários impactos ambientais, tais como chuva ácida e efeito estufa. Aponta-se o tijolo como o maior responsável pelas emissões relacionadas às paredes de alvenaria. Além disso, constatou-se que a redução das perdas no canteiro de obras resulta em menores danos ao meio ambiente.

Johnson (2006) fez uma comparação entre os aspectos ambientais relacionados ao aço e ao concreto, por serem materiais dominantes no mercado imobiliário norteamericano. A unidade funcional utilizada é a estrutura de aço e de concreto necessário para construir 100.000 m² de um prédio comercial. Analisou-se apenas as categorias de “Emissão de dióxido de carbono”, “Consumo de energia” e “Esgotamento dos recursos”. A conclusão do estudo foi que, para as considerações do estudo, a melhor alternativa é o aço. Porém, no geral, em algumas categorias de impacto o aço está mais bem posicionado que o concreto e em outras categorias ocorre o inverso.

Ochsendorf (2010), utilizou a ferramenta para mapear as emissões de gases do efeito estufa durante todo o ciclo de vida de uma edificação. A estratégia utilizada foi relacionar os impactos de todos os materiais envolvidos, estimando quantidade de cada material por unidade funcional, para contabilizar o consumo de energia e combustível. Ao final do estudo, combinou os impactos de todas as unidades de processo utilizadas. Concluiu-se que a fase de operação das edificações é responsável por 90% das emissões de carbono.

Librelotto et al. (2008) listam alguns dos programas computacionais disponíveis para ajudar na avaliação do ACV na construção civil (Tabela 2). Os programas são diferenciados pelos objetivos específicos.

Tabela 2 – Ferramentas computacionais utilizadas para ACV (adaptado de LIBRELOTTO & JALALI 2008).

Programa	Finalidade
SimaPro (Holanda) GaBi (Alemanha) Umberto (Alemanha)	Aplicação Geral a estudos do ACV
BEES 4.0 (EUA)	Apoio à tomada de decisões na seleção de materiais
ATHENA (Canadá) EcoQuantum (Holanda) EmVest (Reino Unido)	Apoio para tomada de decisões na concepção de edifícios.
GBTTool (Canadá) Ecoprofile (Noruega)	Suporte para avaliação de sistemas completos de edifícios.

2.3 Análise de Custos do Ciclo de Vida

Análise de Custos do Ciclo de Vida (CCV) é uma técnica para prever e avaliar os custos do ciclo de vida de um componente, ou parte dele, para determinar se as especificações do projeto estão alinhadas aos requisitos estabelecidos e permitir economia. (ISO, 2008).

A análise pode abranger todo o ciclo de vida ou apenas parte dele, podendo ser dividido, segundo Mearig et al. (1999), em investimento inicial, custos operacionais, custos de manutenção e reparo, custo de substituição, custos residuais e total. A investigação pode ser feita em três níveis de detalhamento; no âmbito estratégico, abordando tópicos como segurança e durabilidade; no sistema, por exemplo, avaliar o sistema estrutural de concreto de uma edificação; e no nível minucioso, analisando especificamente o concreto, por exemplo.

Essa análise técnica-econômica permite, de acordo com Fuller et al. (1995), reduzir os custos futuros, fornecendo uma significativa economia em longo prazo do projeto, tirando o foco individual, seja do investimento inicial, dos custos operacionais ou qualquer outra etapa que expresse valores em curto prazo, colocando em destaque uma visão geral.

Segundo Liu et al. (2003) são importantes para a CCV de uma construção, o cálculo inicial de custos de materiais, os gastos relativos à complexidade de projeto e execução e a projeção de gastos com manutenção ao longo da vida útil. Além disso, os custos com demolição e gestão dos resíduos devem integrar o plano econômico. Considerando sustentabilidade a proposta mais vantajosa economicamente (Martin, 2009).

A CCV deve responder questões simples como necessidades e quanto custará, quais serão as necessidades futuras em função dessa escolha e qual será seu custo, determinar o período de tempo futuro. Porém, para construções é complicado atender essas perguntas. É necessário conhecer o tempo de vida útil do componente e adotar uma hipótese de cenário, para poder prever manutenção e reposição. As variáveis envolvidas são inúmeras.

Os custos da operação das edificações ocupam o terceiro lugar nas principais preocupações dos consumidores e projetistas, segundo Mearig et al. (1999), pois a perspectiva de todos os custos possibilita a sofisticação das construções. Ao comparar duas opções, para uma mesma função, é possível identificar aquela que mais se adequa ao projeto. Esse tipo de comparação é nomeado como mutuamente excludentes, pois o comum é que apenas uma delas seja implementada (FULLER, 1995).

É possível determinar a maioria dos custos ao longo do ciclo de vida na fase de projeto, segundo relatório da *United Nations Environment Programme* (UNEP, 2004).

A comparação deve ser feita com todos os valores no presente, utilizando o valor presente líquido (NPV) que é calculado de acordo com a equação (1). Atendendo os requisitos de custos relevantes, horizonte de tempo e taxa de desconto.

$$V = \frac{A}{(1 + i)^n} \quad (1)$$

Onde,

V = valor presente, A = valor futuro, i= taxa de desconto e n= período de tempo.

A escolha da taxa de desconto é crucial, pois poderá comprometer todas as decisões.

A análise econômica pode ser feita através dos parâmetros: Economia líquida (NS), Relação Economia/Investimento (SIR) e Taxa Interna de Retorno Ajustável (AIRR). O NS pode ser adotado como o montante do ciclo de vida e utilizado para comparar um grupo de opções, onde o maior NS expressará a melhor alternativa. A SIR, que é expressa na equação (2), e AIRR são úteis, principalmente, para classificar projetos independentes, quando o orçamento não é suficiente para cobrir todas as despesas. Além disso, utilizam-se o Custo Anual Equivalente (EAC), que expressa a relação entre o NPV e um fator de equivalência anual, e o Período de Retorno Descontado (DPP), que é o período de tempo até que a soma dos fluxos de caixa descontados de um investimento seja igual ao seu custo.

$$SIR = \frac{\text{Valor presente da economia líquida}}{(\text{investimento} - \text{recuperação} + \text{substituição})} \quad (2)$$

O cálculo também pode seguir um modelo matemático, segundo Langdom (2007), que consiste na soma do custo inicial, do valor presente de substituição, valor presente anual de manutenção e reparos, valor presente de custos de energia e valor presente de revenda.

Outro modelo simples para a estimativa de custos de ciclo de vida, é o do custo total (Tc), baseado na lei de Pareto, que enuncia que 20% das causas são responsáveis por 80% das consequências, e no fator de custo (CMF), que é a razão entre o custo do item (CSI) e o custo total. Portanto o custo total pode ser calculado aplicando a equação (3).

$$T_c = \frac{1}{CMF} \times \sum_{i=0}^n CSI_i \quad (3)$$

Essa investigação é de cunho econômico, não contempla questões relacionadas à qualidade de vida, à pegada de carbono, impactos ambientais. Inclui informações acerca de economia real, valor dos benefícios, tributação. Pode ser integrado com outras metodologias, porém a CCV deve expressar apenas o valor econômico.

É possível fazer uma abordagem conjunta entre CCV e ACV. Guoguo (2009) destaca que ambas são ferramentas quantitativas, para análise do mesmo período de tempo e com foco no futuro. Porém, as metodologias divergem em alguns pontos que são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Diferenças entre CCV e ACV (adaptado de Guoguo,2009 e Norris, 2001)

	CCV	ACV
Objetivo	Valor econômico	Impactos ambientais potenciais
Escopo	Custo	Materiais e produtos
Abordagem	Ascendente	Descendente
Avaliação de impactos ambientais	-	Ar, água e solo
Avaliação de custos	Todos os custos	-
Unidade	Unidade monetária	Unidade física
Fluxos	Benefícios e custos	Materiais e energia

As metodologias são distintas, mas podem ser complementares. Norris (2001) comenta que a indústria não pode limitar suas decisões sobre um produto apenas à ACV; o custo é um fator limitante. Além disso, tanto para os requisitos de sustentabilidade, quanto para a indústria, é importante correlacionar os aspectos econômicos e ambientais para prever melhorias no produto e no plano ambiental do empreendimento.

Porém, para aliar CCV e ACV, é preciso dissolver inconsistências, tais como o período da vida útil e a unidade funcional. Do ponto de vista físico e econômico, a vida útil dos produtos é diferente, os produtos podem sofrer variações em seu preço em tempo inferior ao tempo no qual deixa de desempenhar bem suas funções.

A integração entre CCV e ACV torna-se interessante para propostas mais sustentáveis, pois ajuda a encontrar um ponto de equilíbrio entre custo e questões ambientais, segundo Lützkendorf et al.(2004). O autor destaca que o maior desafio no uso integrado das duas metodologias é a definição dos indicadores, sendo que devem ser diferentes para cada fase do ciclo de vida.

CAPÍTULO 3

3 SUSTENTABILIDADE DO CONCRETO

O concreto de cimento Portland é o material estrutural mais importante e mais utilizado na construção civil, segundo Reiersen (2011), usa-se concreto dez vezes mais que qualquer outro material de construção. De acordo com Mehta e Monteiro (2008), há três razões principais para esse elevado consumo: a capacidade de o concreto resistir à ação da água; a facilidade de ser moldado com várias formas e tamanhos; e por ser o material com menor custo e mais facilmente disponível no canteiro de obra.

Isaia (2007) destaca a importância de se investir no conhecimento da microestrutura do concreto, pois o profundo conhecimento do material garante alta competitividade e isso contribui com o desenvolvimento da sociedade, através da busca das mais variadas aplicações, com melhor desempenho, sem esquecer-se de utilizá-lo de maneira ambientalmente correta, contribuindo para a sustentabilidade.

Segundo Mehta e Monteiro (2008) o concreto de cimento portland é considerado um material compatível com o meio ambiente comparado aos outros materiais de construção, pois, por exemplo, ainda existe grande uso de madeira ilegal, provocando desmatamento, ocupação desordenada e queimadas; o concreto pode incorporar uma variedade de resíduos e; suas propriedades térmicas podem ser utilizadas para aumentar a eficiência energética da edificação. Porém o setor não atingiu o ponto ideal. Meyer (2009) sugere que não há razão para acreditar que o concreto esteja bem posicionado, apesar disso, o autor reconhece os esforços realizados para reduzir as contribuições negativas da produção do material e ressalta que a indústria do concreto tem um longo caminho para conseguir reduzir sua pegada ecológica.

O desenvolvimento sustentável da produção de concreto só será consolidado se, de acordo com Mehta e Monteiro (2008), otimizar o uso dos recursos disponíveis. O autor cita o movimento “Factor Ten Club” que afirma que a eficiência do uso dos recursos naturais pode aumentar com o aumento da vida útil das estruturas, minimizando em 90 % o uso de energia e materiais.

Reiersen (2011) e Meyer (2009) listam estratégias a serem adotadas na busca pela sustentabilidade do concreto:

- Substituir tanto quanto for possível o cimento por materiais cimentícios suplementares;
- Usar material reciclado em substituição a materiais naturais;

- Reutilizar água de lavagem;
- Aumentar as propriedades mecânicas e outras que reduzam a demanda de material;
- Aumentar a durabilidade e vida útil das estruturas de concreto;
- Aumentar e otimizar o reuso do concreto.

Ainda é possível realizar estudo de dosagem com o maior empacotamento possível dos grãos dos agregados graúdos e miúdos disponíveis, bem como da fração fina composta dos grãos de cimento, pozolanas e fileres tanto na escala micrométrica, quanto nanométrica. Dessa forma, pode-se diminuir o consumo de clínquer na mistura, proporcionando maior efetividade aos materiais cimentícios por unidade de resistência (kg clínquer/MPa).

Através da análise do ciclo de vida é possível visualizar o sistema e verificar qual a melhor estratégia para cada caso.

Silva (2010) e Sjunnesson (2005) aplicaram a ACV no ciclo do concreto, utilizando como unidade funcional o metro cúbico. Sjunnesson (2005) concluiu que a produção de matérias primas e o transporte são as unidades mais impactantes. Enquanto que Silva (2010) verificou que, na fase inicial, o cimento é responsável pela maior parcela nos danos ambientais.

Lee et al. (2013) estudaram o ciclo de vida de concretos utilizados em habitações, na Coreia do Sul. Concluíram que o aumento da vida útil reduz substancialmente as emissões de dióxido de carbono do material e indicam que a principal contribuição para reduzir as emissões provenientes das estruturas de concreto é evitar a reconstrução, através do aumento da vida útil.

Collins (2010) investigou a inclusão da carbonatação e da reciclagem do concreto no ciclo de vida. A análise foi feita para uma viga V, componente de uma ponte, considerando o ciclo de vida primário com agregados naturais da região, e a substituição da ponte por outra como sendo a segunda vida do concreto, composto com agregados de concreto reciclado. Concluiu-se que a captura do CO₂ é relativamente pequena na primeira vida, ocorrendo os resultados mais significativos com o uso de agregados reciclados.

Bento (2013) comparou, através de ACV, estruturas de concreto com diferentes resistências, 25, 30 e 35 MPa, para a unidade funcional de um edifício padrão R8-B, da NBR 12721:2009, no qual representa um prédio residencial multifamiliar, composto por térreo mais sete pavimentos, padrão baixo. Concluiu que o edifício menos impactante é aquele com a estrutura de concreto projetado para resistência característica de 35 MPa. Além disso, analisou a viabilidade econômica das estruturas estudadas e a melhor opção também é a de 35 MPa.

Mehta e Monteiro (2008) apresentam uma previsão de consumo de concreto até 2050, mostrando que até lá a população mundial crescerá até aproximadamente 10 bilhões de habitantes antes de se estabilizar, e, por consequência, espera-se que o consumo de concreto seja de 16 bilhões de toneladas por ano. A Figura 3 mostra a relação entre crescimento populacional e consumo de concreto no decorrer dos anos. A linha tracejada representa a tendência do consumo de concreto, enquanto que a linha cheia representa a tendência de evolução da população.

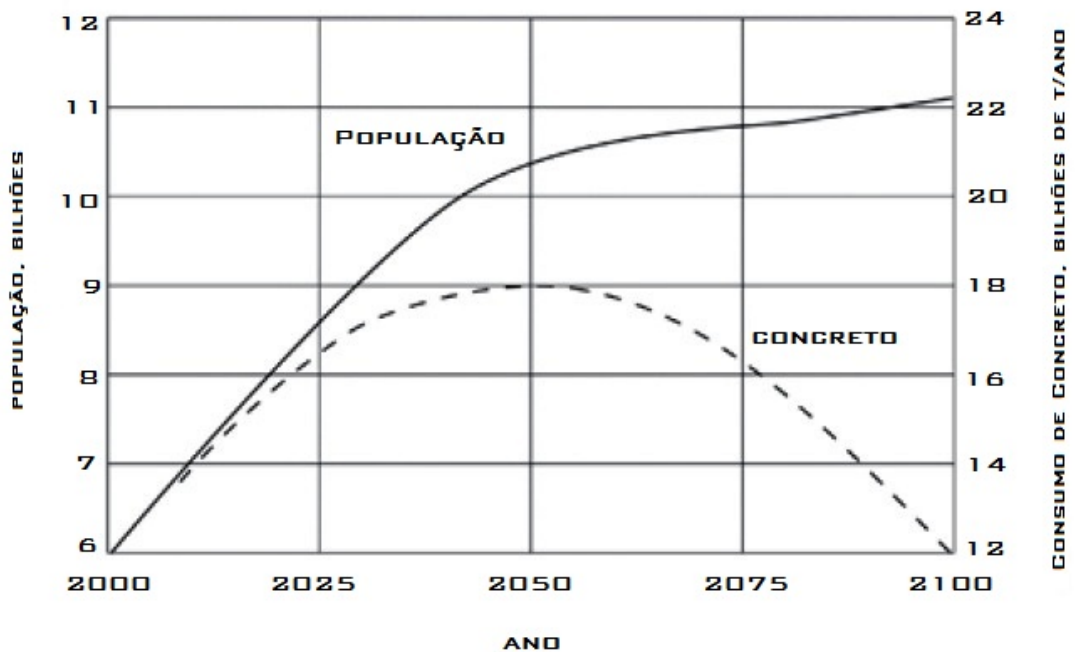


Figura 3 – Previsão do crescimento populacional e demanda de concreto (Mehta e Monteiro 2008).

Observa-se que o pico da demanda por concreto será em 2050, quando haverá aproximadamente de 10 bilhões de pessoas, embora relatório da Organização das Nações Unidas estime 9,6 bilhões de pessoas (ONU, 2013). A partir disso, o consumo será reduzido gradativamente, ao mesmo tempo que a taxa de crescimento populacional será inferior aos índices registrados até 2050.

O concreto é composto, basicamente, de cimento Portland, adições minerais, agregados graúdo e miúdo, água e, eventualmente, aditivos. Outros materiais podem fazer parte, eventualmente, da sua constituição, embora seja composto quase sempre pelos acima citados.

Mudanças na composição do concreto, segundo Flatt et al. (2012), são importantes para tornar o material mais sustentável, além de prolongar sua vida útil.

3.1 Cimento Portland

O cimento Portland é a unidade de processo mais impactante do ciclo de vida do concreto. É um material artificial, obtido pela pulverização de clínquer, constituído basicamente de silicatos hidráulicos de cálcio, sulfato de cálcio natural (gipso), com eventual adição de outras substâncias.

O clínquer é um produto granular, obtido a partir da queima do carbonato de cálcio e argila em um forno giratório de grande comprimento, onde a temperatura interna é bastante elevada, sendo da ordem de 1.400°C, de acordo com boletim técnico da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) (2002).

O processo de obtenção do clínquer é apontado como um dos maiores responsáveis pela emissão de dióxido de carbono (CO₂) da indústria cimenteira. Devido a exposição do calcário ao calor, ocorre uma reação química de descarbonatação do carbonato de cálcio, apresentada na equação (4), na qual observa-se que 44% da massa de carbonato de cálcio transforma-se em dióxido de carbono. Além disso, para atingir as temperaturas adequadas nos fornos de clínquer é necessário a queima de grandes quantidades de combustíveis.



Portanto, reduzir o percentual de clínquer, fazendo uso de resíduos, significa reduzir quase todos os impactos associados a produção de cimento. Segundo Ferrari (2002), é possível utilizar resíduos nos fornos de clínquer de duas maneiras: em substituição parcial a matéria-prima e/ou ao combustível.

Quanto a substituição de parte da matéria prima, a indústria cimenteira faz uso de adições minerais, sendo na maioria dos casos rejeitos industriais. Essas substituições têm trazido vantagens técnicas, econômicas e ambientais, pois reduz o consumo de energia e emissão de gás carbônico. (JOHN, 2011b).

No que diz respeito ao consumo de combustível nos fornos de clínquer, é possível incinerar uma variedade de resíduos através do co-processamento industrial que pode ser entendido, segundo Ferrari (2002), como sendo a destruição de resíduos poluentes na qual o calor gerado na queima é utilizado em fornos de produção de clínquer, desde que essa operação não gere impactos no meio ambiente, na segurança e na saúde pública.

Os resíduos utilizados na clínquerização para substituir parte de combustível ou matéria-prima devem conter os principais componentes da farinha (CaO, SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃). Além

disso, eles devem contribuir para a alcalinidade do forno, auxiliando na neutralização de gases ácidos. A cal ajuda a manter o ambiente alcalino, ele é o componente utilizado em incineradores de resíduos perigosos. (MARINGOLO, 2001)

Müller et al. (2008) apontam que, normalmente, cerca de 55% das emissões de dióxido de carbono advêm da descarbonatação do cálcio e 40% da queima de combustíveis. Além disso, a planta da fábrica, o uso de eletricidade e o transporte contribuem para os níveis de emissões. Chen et al. (2010) estudaram os impactos ambientais da fabricação de cimento e as variações entre diferentes plantas industriais, através da análise do ciclo de vida, identificou que há diferenças entre 20 a 30% nas emissões do forno, já para outras emissões, a diferença pode chegar até 40%.

A parcela de contribuição do cimento no total de emissões mundiais de CO₂ é de 5%, segundo relatório *The cement sustainability initiative* do *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD, 2012). Em virtude disso, a indústria cimenteira em todo o mundo adotou medidas para reduzir seu impacto. Utilizando uma média mundial, de 1990 para 2006 a emissão de CO₂ por tonelada de clínquer reduziu de 914 kg para 866 kg, de acordo com relatório da WBCSD (2006).

De acordo com Müller et al. (2008), dos principais produtores de cimento, o Brasil é o país com a menor taxa de emissão de dióxido de carbono, sendo 0,52 t CO₂. t⁻¹ de cimento; O uso de energias renováveis, tecnologias limpas e a promoção de eficiência energética contribuem para este índice. Apesar de se estimar que o consumo de cimento no ano de 2020 seja de 73 Mt, acredita-se que o fator de emissão será reduzido para 0,47 t CO₂. t⁻¹ de cimento, devido a maiores investimentos para a redução do impacto ambiental.

O mesmo autor comenta que a indústria cimenteira é responsável por aproximadamente 3% do consumo global de energia primária e 1,5% do consumo de energia elétrica produzida no mundo, essa emite menores volumes de dióxido de carbono. Apesar disso, a eficiência energética varia em cada país. Em 2011, no Brasil, onde predomina a geração hidrelétrica, o fator médio de emissão foi de 0,065 kg CO₂.kWh⁻¹ (BRASIL, 2013), por outro lado, a Índia, dependente do carvão para geração de energia, obteve fator médio de emissão de 0,856 kg CO₂.kWh⁻¹ (IEA,2013). Quanto a intensidade de energia, no Brasil consome-se 3,6 GJ.t⁻¹ de cimento, atrás apenas do Japão com 3,1 GJ t⁻¹, já o país que apresenta o consumo mais elevado, entre alguns dos maiores produtores de cimento, é os Estados Unidos da América com 5,5 GJ.t⁻¹. (MÜLLER et al., 2008)

3.2 Agregados

Os agregados do concreto também contribuem para os impactos ambientais, embora em menor escala do que o cimento. A obtenção dos agregados é realizada através da exploração mineral, que segundo Costa (1999), é uma das atividades mais impactantes ao meio ambiente.

A extração de areia e pedra pode causar desmatamento; destruição de fauna e flora; formação de cavas; alterações dos cursos de água; destruição do fundo dos rios; alteração do pH; aumento do teor de sólidos em suspensão; promover assoreamento; entre outros. Farias (2002) lista os principais impactos decorrentes de atividades de mineração realizadas em algumas regiões do Brasil que estão relacionadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Principais impactos ambientais decorrentes da atividade de mineração em algumas regiões do Brasil (adaptado de FARIAS, 2002).

Substância Mineral	Estado	Principais Problemas
Agregados para construção civil	RJ	Produção de areia em Itaguaí/Seropédica: contaminação do lençol freático; comprometimento do uso da terra no futuro devido à criação desordenada de áreas alagadas.
	SP	Produção de areia no Vale do Paraíba: acarreta a destruição da mata ciliar; turbidez; conflitos no uso e ocupação do solo; acidentes nas rodovias causados pelo transporte.
	RJ e SP	Produção de brita nas Regiões Metropolitanas do Rio de Janeiro e São Paulo, acarretando: vibração, ruído, emissão de material particulado, transporte, conflitos com uso e ocupação do solo.
Calcário	MG e SP	Mineração em áreas de cavernas com impactos no patrimônio espeleológico.

Farias (2002) ainda comenta que devido aos problemas ambientais causados pela extração de areia, brita e argila, materiais de uso imediato na construção civil, e ao conflito desta atividade com outras maneiras de uso e ocupação do solo tem ocorrido uma sensível diminuição de jazidas disponíveis para suprir a demanda das principais regiões metropolitanas brasileiras. Para suprir a demanda, os agregados percorrem grandes distâncias de transporte. Além disso, a proximidade das jazidas com as áreas habitadas causa impactos visuais, resultado da movimentação de rocha e solo, além do desconforto ambiental.

No Brasil, ainda segundo Farias (2002), os principais problemas resultantes da mineração são distribuídos em quatro categorias: poluição da água, poluição do ar, poluição sonora e subsidência³ do terreno.

³ Subsidência: afundamento abrupto ou gradativo da superfície do solo, com pouco ou nenhum movimento horizontal.

Silva (2010) verificou que os principais impactos ambientais associados a extração de areia são referentes a problemas respiratórios causados por partículas inorgânicas e a acidificação/eutrofização; e para pedra britada os principais impactos são referentes às mudanças climáticas e problemas respiratórios causados por partículas inorgânicas, devido, principalmente, ao uso de explosivos e combustível.

Para evitar os danos associados à utilização de agregados naturais, pode-se considerar a substituição desses materiais por resíduos de demolição e construção (RCD) ou até mesmo por outros resíduos industriais. Porém, para que essa substituição seja viável é preciso caracterizar os resíduos que se pretende utilizar, pois estes podem apresentar propriedades ou impurezas com efeitos negativos para a resistência, durabilidade e trabalhabilidade do concreto.

O uso de RCD, por exemplo, dependendo do teor de substituição, pode reduzir a resistência do concreto, sendo necessário o aumento do consumo de cimento para produzir concreto de mesma resistência que o traço com agregado natural. (ANGULO ET AL., 2011b)

A utilização de agregados provenientes de reciclagem de resíduos é importante para a redução do consumo de matérias-primas primárias, além de reduzir os volumes de resíduos que são destinados a aterros.

3.3 Adições minerais e aditivos químicos

As adições minerais são utilizadas desde o período de 1500 a.C. Inicialmente eram utilizadas adições naturais, provenientes da erupção de vulcões. Atualmente a maioria das adições minerais utilizadas são resíduos industriais ou agrícolas, que são gerados, em alguns casos, em grandes quantidades, como a cinza volante e escória de alto forno.

O uso desses resíduos como adição na cadeia produtiva do concreto, em substituição parcial ao cimento ou clínquer, traz benefícios ambientais, tanto na redução de extração de matéria-prima, como a redução do impacto associado ao descarte do material no meio ambiente. Pode reduzir o consumo de energia e distâncias de transporte de matérias-primas. Reduz também a poluição gerada, principalmente no que diz respeito à emissão de CO₂ na produção de clínquer. (DAL MOLIN, 2011a)

O uso de adições minerais resulta, em geral, em um material com boas características técnicas, através da modificação na microestrutura da pasta de cimento hidratada. Segundo Mehta e Monteiro (2008), os benefícios incluem melhor resistência à fissuração térmica, pelo baixo calor de hidratação; aumento da resistência final e impermeabilidade pelo refinamento

dos poros e fortalecimento da zona de transição na interface, e durabilidade maior com relação ao ataque de sulfatos e à expansão pela reação álcali-agregado.

Valipour et al. (2014) compararam, através da ACV, as mudanças climáticas potenciais de um metro cúbico de concreto convencional e composto de zeólitos naturais, uma pozolana natural, expostos a ambientes marinhos. Concluíram que a adição de 10 a 20% de zeólito decresce o potencial de impacto, além de melhorar a resistência do concreto, sendo o uso dessa adição uma alternativa para a minimização da pegada de carbono do material.

Os aditivos são, de acordo com a norma técnica NBR 11.768 (ABNT, 2011), “produtos que adicionados em pequena quantidade a concretos de cimento Portland modificam algumas de suas propriedades, no sentido de melhor adequá-las a determinadas condições”.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), os aditivos variam bastante na sua composição química, sendo que alguns podem atuar em uma ou mais propriedades do concreto. Martins (2011a) lista alguns dos benefícios obtidos no uso correto de aditivos:

- diminuir o custo do concreto por permitir a otimização da relação qualidade/preço;
- ampliar o campo de aplicação do concreto;
- obter uma homogeneidade na fabricação da argamassa ou concreto;
- modificar ou melhorar o tempo de pega do cimento, a resistência mecânica do concreto em suas diferentes idades, o conteúdo de ar ou outros gases, melhorar a durabilidade e a trabalhabilidade, diminuir a segregação, etc.

Os aditivos químicos redutores de água diminuem a tensão superficial da água, diminuindo a viscosidade, portanto, aumentam a área molhada. São três tipos de redutores de água:

- Redutor de água/plastificante: são sais de ácido hidroxí-carboxílicos e polissacarídeos. São subprodutos do processo de extração de celulose da madeira;
- Alta redução de água/ superplastificante tipo I: são sais condensados de naftaleno sulfonato ou melamina sulfonato. São produtos sintéticos;
- Alta redução de água/ superplastificante tipo II: são a base de policarboxilato-poliésteres.

O uso de aditivos redutores de água pode reduzir sensivelmente o consumo de clínquer ou cimento, quando convenientemente escolhidos e dosados, atuando como materiais

potencializadores da redução das emissões dos gases de efeito estufa, principalmente quando associados à técnica de otimização de empacotamento das partículas do concreto.

A incompatibilidade entre cimento e aditivos químicos pode afetar o desenvolvimento da resistência à compressão, a consistência (rápida perda de abatimento ou baixa fluidez) e o tempo de pega (instantânea ou falsa pega).

Existem diferentes métodos de determinar a compatibilidade, segundo Hartmann et al. (2011a), baseados na comparação da fluidez da pasta de cimento, como o mini-slump, calorimetrias isotérmicas e semiadibática e o funil de Marsh.

3.4 Dosagem

Segundo Tartuce (1990), a dosagem consiste em encontrar a melhor proporção de utilizar os materiais disponíveis, atendendo características físicas e químicas pré-definidas. Recena (2002) complementa que o objetivo principal da dosagem é obter o concreto mais adequado e não o melhor concreto, embasado em um traço sujeito a alterações e adaptações. Além disso, Mehta e Monteiro (2008) destacam que a dosagem busca atingir o equilíbrio entre a trabalhabilidade, a resistência, a durabilidade e o custo do concreto.

Há diversos métodos de dosagem experimental, tais como o método do IPT que parte de um traço inicial para determinar os traços definitivos com o traçado de um diagrama de dosagem, com dados de relação a/c, relação em massa seca de agregados/cimento, consumo de cimento e resistência obtidos experimentalmente. O método do ACI é baseado em valores tabelados, no qual se baseou o método da ABCP, adaptado para as condições brasileiras, porém o método está desatualizado, portanto não se pode obter o traço diretamente, necessita-se de ajustes experimentais.

O concreto estrutural deve ser dosado para uma resistência característica à compressão (f_{ck}), definida como a resistência mínima atingida por 95% dos corpos de prova do concreto, de um dado lote. A expressão geral para obtenção da resistência de dosagem (f_{cj}), a partir da característica, é apresentada na equação (5), conforme a ABNT NBR 12655:2006.

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \times S_d \quad (5)$$

Onde:

f_{cj} : resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de j dias (MPa);

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

S_d : desvio-padrão (MPa); depende das condições de preparo do concreto. classificadas em:

- a. Condição A (aplicável de C10 a C80): materiais medidos em massa, a água pode ser medida em volume, com equipamento dosador e correção de umidade dos agregados. Desvio padrão de dosagem inicial: $S_d = 4$ MPa;
- b. Condição B (aplicável de C10 a C25): cimento medido em massa, água medida em volume com dispositivo medidor, agregados medidos em volume ou massa combinada com volume, depende da classe do concreto e a umidade é corrigida a partir da curva de inchamento do material utilizado. Desvio padrão de dosagem inicial: $S_d = 5,5$ MPa;
- c. Condição C (aplicável de C10 e C15): cimento medido em massa, água e agregados medidos em volume. A correção da água é feita baseada na estimativa da umidade dos agregados e da determinação da consistência do concreto. Desvio padrão de dosagem inicial: $S_d = 7$ MPa.

Deve-se incorporar os conceitos de sustentabilidade desde a dosagem do concreto, através do uso de materiais alternativos e da otimização dos recursos. Existem técnicas variadas para otimizar os recursos, tais como o aumento do controle de qualidade por intermédio da aplicação de desvio padrão menor (menor resistência de dosagem f_{cj} para um mesmo f_{ck}), tornando-se possível reduzir a demanda por cimento; utilizar técnicas de empacotamento de partículas, por meio do qual pode-se reduzir o consumo de cimento por metro cúbico de concreto; adotar resistência característica do concreto à compressão mais elevada, a fim de reduzir o consumo de materiais, com o cuidado de utilizar o melhor concreto, evitando resistências mais elevadas do que as requeridas em projeto, em peças nas quais não haja necessidade.

O uso de concreto auto adensável, quando compatível com o projeto, proporciona maior sustentabilidade, pois acrescenta uma série de ganhos sociais e econômicos, tais como maior produtividade e ambiente de trabalho com menores ruídos. (LUKASIK et al., 2007)

3.5 Resistência mecânica

A resistência à compressão, segundo Mehta e Monteiro (2008), é a propriedade do concreto mais valorizada entre engenheiros de controle de qualidade e projetistas, pois é a partir da escolha do f_{ck} que se desenvolve todo o projeto.

Por sua vez, a resistência mecânica é influenciada por vários fatores, como a propriedade e proporção dos materiais, condições de cura, compactação e, principalmente, pela relação água/aglomerante (a/ag).

O avanço científico/tecnológico do concreto proporcionou a produção de concreto com baixa relação a/ag e alto desempenho, pois a resistência influencia na durabilidade da estrutura. (NEVILLE, 1997).

Segundo Nakamura (2006), estruturas em que se utilizam concretos mais nobres, com resistência características (f_{ck}) mais elevadas, são estruturas com custo por volume de concreto maior, cerca de 30 à 40% mais caras que as usuais para concreto de alto desempenho, pois necessitam de maior consumo de materiais cimentícios e alto controle tecnológico. Porém, através de análise detalhada da produção de estruturas de concreto, verifica-se que o aumento da resistência característica, em longo prazo, proporciona durabilidade e, em curto prazo, redução do volume de material usado, atenuando o impacto gerado pela produção do cimento e pela extração de outros materiais constituintes do concreto.

O aumento da resistência característica do concreto implica na possibilidade de redução da seção do elemento estrutural. Para um pilar em uma estrutura com alta taxa de carregamentos, aumentar a resistência característica proporciona redução no volume de concreto, implicando no aumento da área útil de pavimentos (JOHN, 2011b).

Além disso, diminuir a seção transversal significa subtrair volume da peça, o que converge para menor volume de cimento e de agregados. Reduções no gasto de cimento são substancialmente importantes para o meio ambiente, devido ao alto nível poluente de sua produção, e a diminuição do uso de agregados naturais e artificiais reflete na diminuição da extração mineral e transporte, no qual também representa ganho para a sustentabilidade (JOHN, 2011b).

Concretos com maior resistência característica são consequência de menor volume de vazios na mistura endurecida. Através de uma dosagem correta, almejando maior empacotamento entre as partículas e com menor relação a/ag , pode-se obter menor tendência à fissuração por carregamento, com o aumento da resistência. Do mesmo modo, obtém-se menor porosidade, dificultando a ação de penetração de agentes externos. Assim, conjuntamente com

uma espessura de cobrimento adequada à agressividade ambiente, de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), aumenta-se a durabilidade da estrutura de concreto que também representa ganho econômico, segundo Neville (1997).

CAPÍTULO 4

4 METODOLOGIA

A metodologia para o desenvolvimento deste estudo de caso é de cunho qualitativo, através da análise de impactos ambientais e sustentabilidade, e quantitativo, a partir da quantificação de custo e fluxo de materiais. Essa análise da sustentabilidade de um pilar de concreto partiu do princípio de sustentabilidade, que está apoiado nos seus três critérios básicos: ambiental, econômico e social.

Para a definição de uma metodologia adequada que contemple ao menos dois parâmetros, traçou-se um diagrama, apresentado na Figura 4, facilitando a visualização. A interseção entre os três grupos representa a sustentabilidade, para o par ambiental-social a metodologia definida é a de análise do ciclo de vida, para social-econômico a análise do custo de ciclo de vida e a metodologia de valoração para as questões econômico-ambiental.

A análise do ciclo de vida foi definida no par ambiental-social devido a interferência que os impactos ambientais causam na qualidade de vida social, sem abranger a avaliação social do ciclo de vida que engloba aspectos como de condição de trabalho e direitos humanos na produção dos produtos e serviços. Não é possível estudar o viés da ACV sem levar em conta o aspecto social porque o estudo da sustentabilidade da construção civil está direcionado, em primeiro lugar, para as pessoas que usufruem das obras construídas para satisfazer suas necessidades, logo devem apresentar condições condizentes com as suas necessidades presentes e, também, da sociedade do futuro. Analogamente, a análise de custos do ciclo de vida foi a escolhida porque o fator econômico exerce impactos sobre a sociedade, principalmente, por restringir algumas soluções à população de maior poder aquisitivo. Já a valoração atribui um valor econômico aos bens ambientais, por isso definida para o par ambiental-econômico.

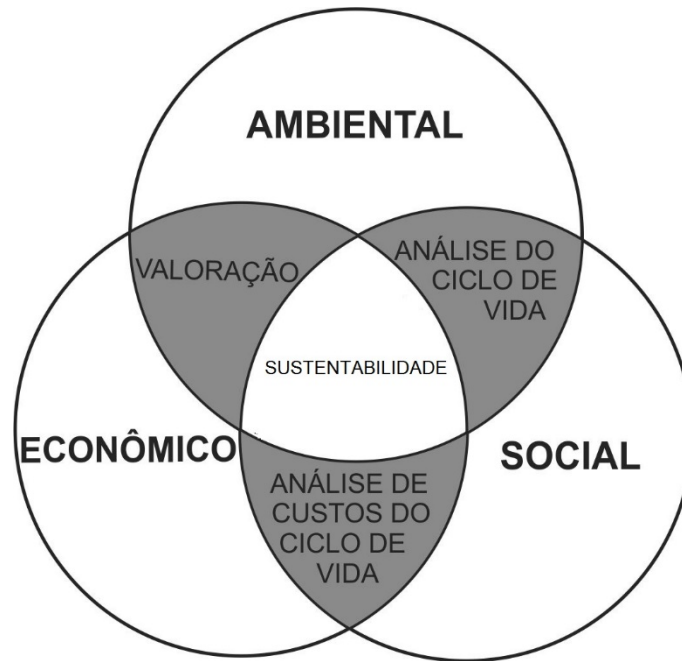


Figura 4 – Diagrama da sustentabilidade e metodologias adequadas.

A valoração não foi abordada nesta pesquisa, portanto, essa análise da sustentabilidade está embasada nas metodologias de análise do ciclo de vida, padronizada pela série de normas NBR ISO 14040 (ABNT, 2009), e análise do ciclo de custos com diretrizes na ISO 15686-5 (ISO, 2008).

O estudo está dividido em quatro fases, conforme uma análise do ciclo de vida; definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação.

4.1 Definição de objetivo e escopo

Na primeira etapa, elaborou-se o sistema relacionado ao produto, baseado nos objetivos e escopo, para facilitar a visualização das unidades de processo e a reprodução das análises realizadas; as funções e fronteiras desse sistema; e a unidade funcional.

Na Figura 5 o sistema relacionado ao pilar de concreto armado é apresentado, dividido em cinco fases do ciclo de vida do concreto; matérias-primas, usina de concreto, obra, vida útil e segunda vida, de acordo com *Fédération Internationale du Béton - FIB* (2012). A primeira fase engloba a extração, processamento e transporte das matérias primas, a fase da usina de concreto compreende a produção e transporte do concreto usinado, na próxima fase inclui a moldagem, cura e a execução dos elementos de concreto armado, a quarta fase abrange a operação, manutenção e reparo das peças de concreto e a última etapa envolve a demolição, reciclagem e captura de CO₂. Essa análise de ciclo de vida é parcial, da matéria prima até a obra, as unidades de processo que compõem o escopo desta pesquisa estão

circundadas pela linha tracejada. Portanto, o estudo englobou as fases de aquisição de matéria-prima e transporte, manufatura e transporte, produção de concreto e transporte e a confecção de um pilar de concreto armado de uma edificação padrão da região de Santa Maria-RS, produzido com três diferentes misturas, para fins de comparação, utilizando três diferentes tipos de cimento Portland CP II-Z 32, CP IV 32 e CP V-ARI, como aglomerantes; areia natural e brita, como agregados; água; e aditivos químicos redutores de água.

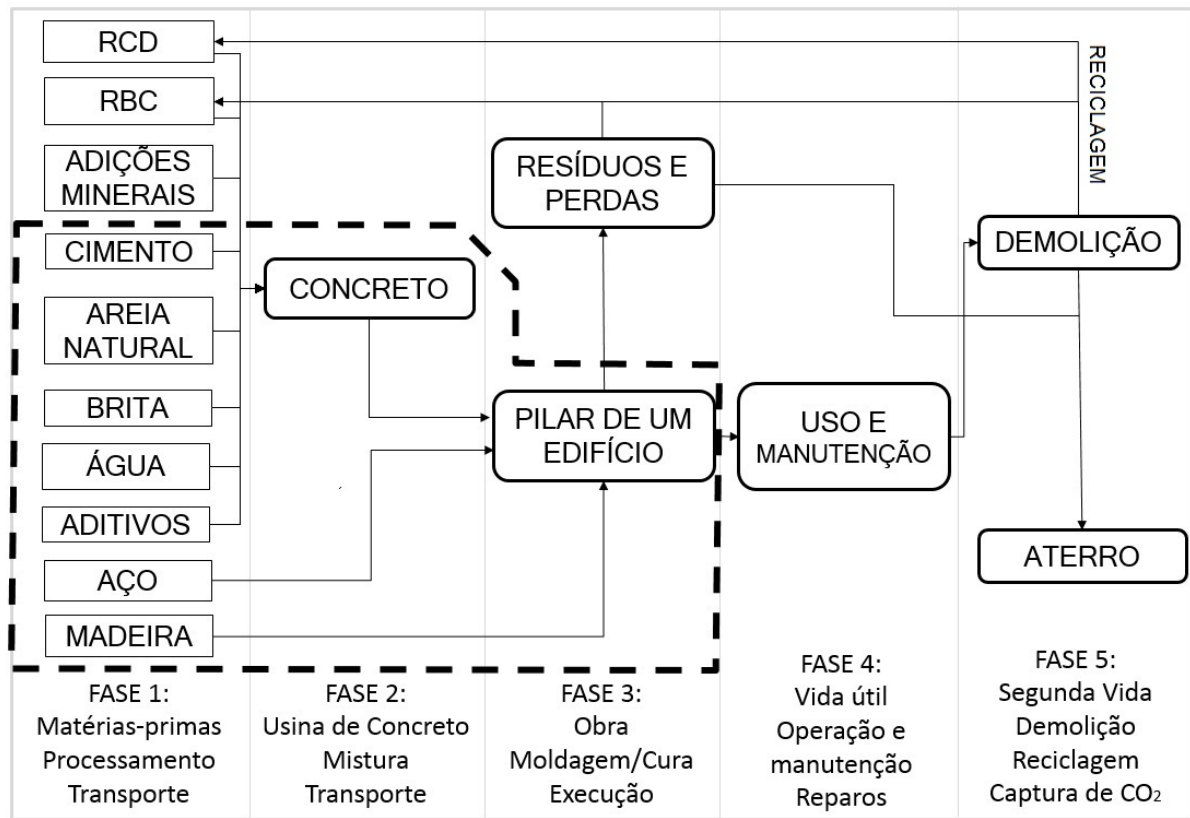


Figura 5 – Sistema relacionado ao pilar de concreto armado.

A unidade funcional adotada para compatibilizar os processos de entrada e saída é um pilar de concreto armado (elemento estrutural) situado no pavimento térreo composto por pilotis, de uma edificação de oito pavimentos, com exposição livre das quatro faces ao meio ambiente, cujas dimensões e quantidade de armadura de aço serão determinadas para dois níveis de resistências características à compressão de concreto, adotando valores pertencentes ao grupo I da NBR 8953 (ABNT, 2011), 30 MPa e 50 MPa, seguindo as teorias e técnicas preconizadas pela NBR 6118 (ABNT, 2014) e demais normas técnicas brasileiras pertinentes.

Adotou-se o pilar como unidade funcional pois a EN 15804 (BRE, 2012) sugere que a unidade adotada seja aquela que representa uma característica de desempenho quando integrada

com a edificação e um pilar é o elemento estrutural mais importante no que diz respeito à segurança e capacidade de resistência global de uma edificação.

Para calcular o volume de concreto, realizou-se um estudo de dosagem, para duas resistências características de 30 MPa e 50 MPa, adotando o desvio padrão de 4 MPa, controle A de acordo com a classificação da NBR 12655 (ABNT, 2006), correspondente ao concreto dosado em central, de modo que a resistência de dosagem fosse de 36,6 MPa e 56,6 MPa, aos 28 dias, calculada através da equação (6)

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \cdot S_d \quad (6)$$

Onde: f_{ck} é a resistência característica desejada e S_d é o desvio padrão.

Anterior ao estudo de dosagem, todos os materiais foram caracterizados.

4.1.1 Materiais cimentícios

Utilizaram-se nesta pesquisa os cimentos Portland composto (CP II-Z), pozolânico (CP IV) e de alta resistência inicial (CP V-ARI), todos de fabricação nacional e de acordo com as normas referentes, NBR 11578 (ABNT,1997), NBR 5736 (ABNT,1999) e NBR 5733 (ABNT,1991), respectivamente.

Todos os materiais cimentícios foram submetidos aos ensaios:

- i. Composição química completa: perda ao fogo, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , S , Na_2O , K_2O e Início de pega;
- ii. Massa específica absoluta, utilizando o frasco volumétrico de Le Chatelier, seguindo as diretrizes da norma NBR NM 23 (ABNT, 2001);
- iii. Granulometria por difração a laser;
- iv. Determinação da finura, seguindo a NBR 11579 (ABNT, 2013);
- v. Determinação da água da pasta de consistência normal, seguindo a NBR NM 43 (ABNT, 2003);
- vi. Tempo de início e fim de pega utilizando o aparelho de Vicat, seguindo a NBR NM 65 (ABNT, 2003);
- vii. Resistência à compressão axial da argamassa normal a 3,7 e 28 dias, seguindo a NBR 7215 (ABNT, 1997)

A Tabela 5 apresenta a composição química dos cimentos, onde observa-se que para o cimento CP IV 32 o parâmetro de perda ao fogo e anidrido carbônico e para o CP II-Z 32 os resíduos insolúveis ficaram acima dos limites estabelecidos por normas apropriadas para cada

um dos tipos de cimento, e a Tabela 6 apresenta a caracterização física dos materiais cimentícios, onde é possível notar que os resultados encontrados estão adequados.

Tabela 5 – Composição química dos cimentos – ensaio realizado pela ABCP.

Ensaio	Resultados % em massa					
	CP II-Z	Limites da NBR 11578/97	CP IV	Limites da NBR 5736/99	CP V-ARI	Limites da NBR 5733/91
Perda ao fogo - PF	5,15	≤ 6,5 %	7	≤ 4,5 %	3,08	≤ 4,5 %
Dióxido de silício total - SiO ₂	28,14	-	32,61	-	18,81	-
Óxido de alumínio - Al ₂ O ₃	9,14	-	8,79	-	4,75	-
Óxido de ferro - Fe ₂ O ₃	2,6	-	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 ₃	2,23	≤ 4,0 %	1,97	≤ 4,0 %	2,28	≤ 4,5 %
Óxido de sódio - Na ₂ O	0,13	-	0,2	-	0,18	-
Óxido de potássio - K ₂ O	1,26	-	1,39	-	0,89	-
Óxido de titânio - TiO ₂	0,44	-	0,41	-	0,3	-
Óxido de estrôncio - SrO	0,07	-	0,04	-	0,26	-
Pentóxido de fósforo - P ₂ O ₅	0,1	-	0,1	-	0,16	-
Óxido de manganês - Mn ₂ O ₃	0,06	-	0,1	-	0,04	-
Óxido de cálcio livre - CaO (livre)	1,57	-	1,93	-	1,17	-
Resíduo insolúvel - RI	23	≤ 2,5 %	34,27	-	1,19	≤ 1,0 %
Anidrido carbônico - CO ₂	4,99	≤ 5,0 %	4,89	≤ 3,0 %	2,27	≤ 3,0 %
Equivalente alcalino em Na ₂ O (0,658xK ₂)% +Na ₂ O%)	0,96	-	1,11	-	0,76	-

Tabela 6 – Caracterização física e mecânicas dos cimentos.

	CP II-Z 32	CP IV 32	CP V-ARI	
Massa Específica (g/cm³)	2,95	2,70	3,14	
Índice de Finura #0,075 mm (%)	0,20	0,20	0,02	
Blaine (cm².g⁻¹)	3,67	4,34	4,27	
Início de pega (min)	200	223	154	
Fim de pega (min)	239	264	191	
Consistência normal (%)	27,4	30,0	29,1	
Argamassa normal Resistência (MPa)	3 dias	29,23	20,98	38,09
	7 dias	29,59	25,27	38,6
	28 dias	38,11	33,09	49,97

As curvas granulométricas dos três cimentos estudados, CP II-Z 32, CP IV 32 e CP V-ARI, obtidas por granulômetro de difração a laser, realizado pela ABCP, estão apresentadas na Figura 6.

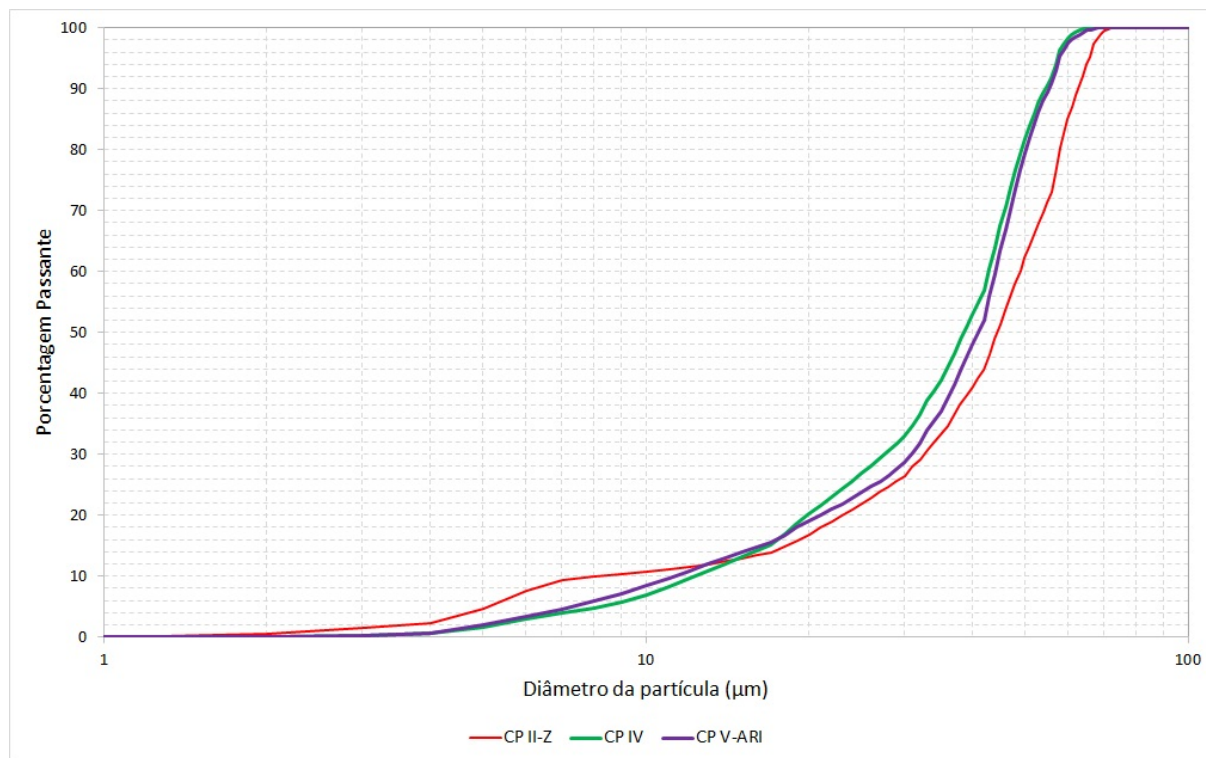


Figura 6 – Distribuição granulométrica dos cimentos estudados.

4.1.2 Agregados

Utilizaram-se agregados naturais graúdos e miúdos, todos foram lavados, peneirados e estocados em local apropriado. Utilizou-se agregado miúdo com granulometria entre 4,75 e 0,15mm, já o agregado graúdo foi a fração retida entre as peneiras 19 e 4,75 mm.

Para caracterizar os materiais foram realizados os seguintes ensaios:

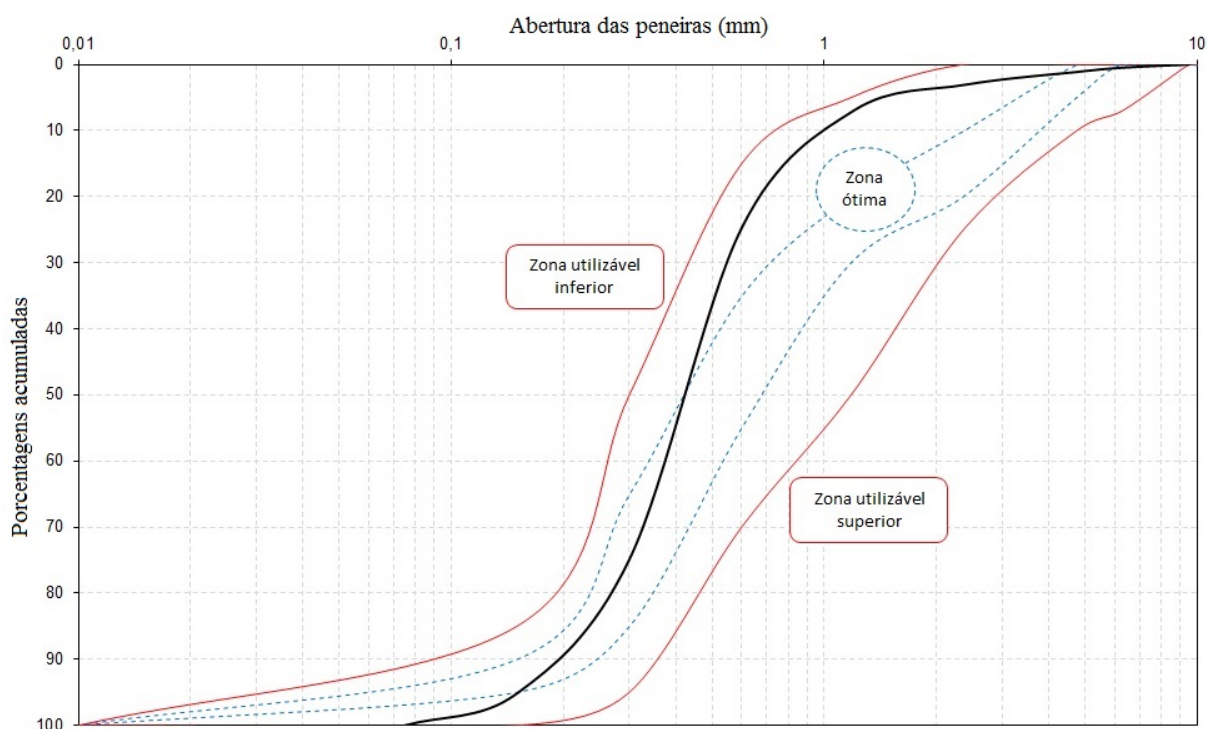
- i. Massa específica e aparente do agregado miúdo, através da determinação de volume e massa, seguindo as diretrizes estabelecidas na NM 52:2009;
- ii. Massa específica e aparente do agregado graúdo e absorção de água, determinados por massa e volume, seguindo a NM 53:2009;
- iii. Ensaio de abrasão Los Angeles do agregado graúdo, seguindo a NM 51:2001;
- iv. Massa unitária e do volume de vazios de agregados, seguindo a NM 45:2006;
- v. Índice de forma do agregado graúdo, seguindo a NBR 7809:2008;
- vi. Composição granulométrica, pelo método da NM 248:2001;
- vii. Absorção de água do agregado miúdo, seguindo a NM 30:2000.

O resultado da caracterização dos agregados, graúdo e miúdo, estão expostos na Tabela

Tabela 7 – Características físicas dos agregados.

	Areia	Brita
Massa específica (g/cm ³)	2,65	2,49
Absorção do agregado (%)	0,31	2,51
Massa unitária (kg/m ³)	1,70	1,41
Módulo de finura	2,04	2,98
D _{máx}	2,36	19
Perda (%)	-	11
Índice de forma	-	2,80

A curva granulométrica do agregado miúdo está representada na Figura 7, a curva preta descreve a granulometria da areia utilizada, e do agregado graúdo na Figura 8, onde a curva preta denota a brita utilizada no estudo. As demais linhas representam as zonas estabelecidas pela NBR 7211 (ABNT, 2009).

**Figura 7 – Curva Granulométrica do agregado miúdo conforme ABNT NBR 7211:2009**

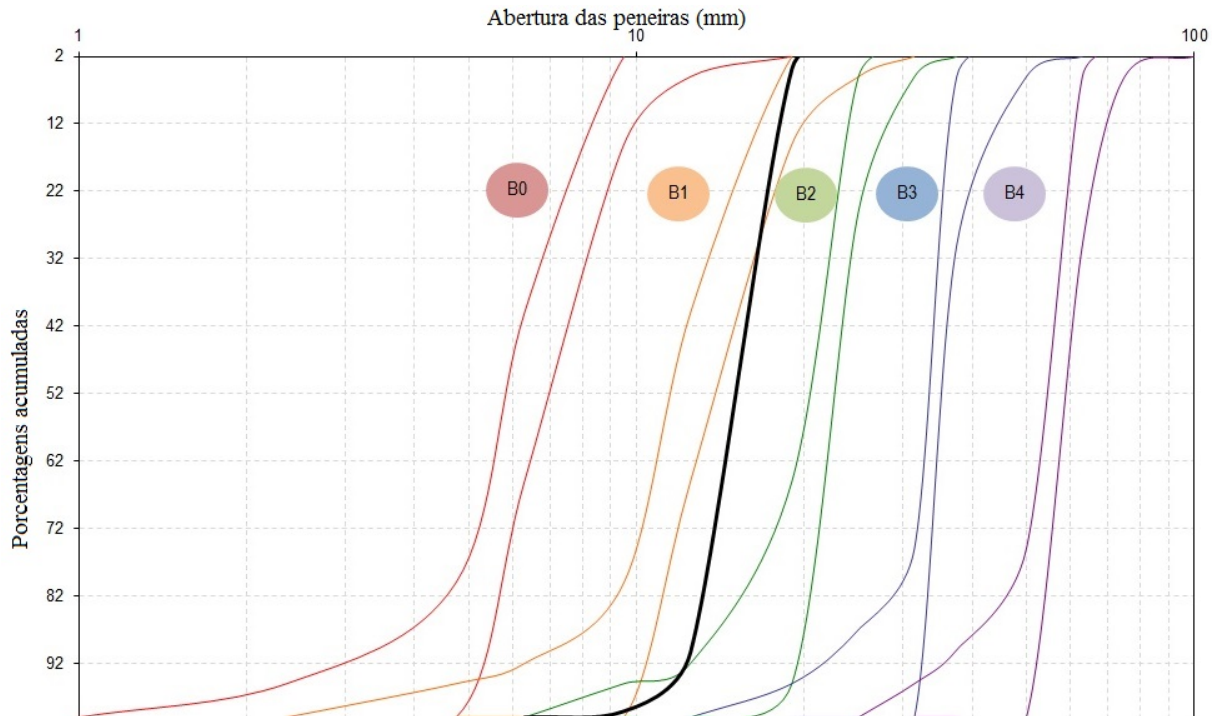


Figura 8 – Curva Granulométrica do agregado graúdo conforme ABNT NBR 7211: 2009

4.1.3 Aditivos químicos redutores de água

Foi utilizado um aditivo plastificante polifuncional para melhorar a trabalhabilidade, onde este aditivo não for suficiente, foi acrescentado um superplastificante a base de éter carboxilato.

Para caracterizar os materiais foram realizados os seguintes ensaios:

- i. Densidade pelo método do picnômetro;
- ii. Valor de pH pelo phametro;
- iii. Compatibilidade com os cimentos CP II-Z, CP IV e CP V puros, através do ensaio do cone de Marsh com as três relações água cimento adotadas, iniciando com 0,2% de aditivo, com incrementos de 0,2% até pelo menos 50% acima da dosagem recomendada pelo fabricante. Os tempos de determinação adotados foram após 5 e 60 minutos de mistura;
- iv. Desempenho dos aditivos para concreto, seguindo a NBR 11768 (ABNT, 2011).

As características dos aditivos superplastificante e plastificante estão apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Caracterização dos aditivos.

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

Para verificar a compatibilidade cimento-aditivo foi realizado o ensaio de Marsh, um método simples de medir a fluidez da pasta como o inverso do tempo de escoamento pelo funil com pequena abertura. Após 5 e 60 minutos da preparação das misturas, com volume padronizado e pastas com diferentes teores de aditivos, cronometrou-se o tempo de escoamento. Plotou-se um gráfico de teor de aditivo, em %, *versus* logaritmo do tempo, em segundos.

O teor ideal é dado pelo ponto a partir do qual o tempo de escoamento não varia consideravelmente. Quando o ponto de saturação não fica bem definido na curva, segundo Agulló et al. (1999), possivelmente é um indicativo de que os materiais são incompatíveis.

Para o cimento Portland composto, o ensaio foi realizado com aditivo plastificante para a relação a/c de 0,475 verificou-se que, apesar de não ter ponto de saturação bem definido, o teor é de 1%.

Para o cimento Portland pozolânico, o ensaio foi realizado com aditivo plastificante para a relação a/c de 0,475 somente a partir de 0,8% de aditivo, teores menores não atingiram a fluidez necessária para realizar o ensaio. Verificou-se que os materiais não são compatíveis.

Para o cimento Portland de alto resistência inicial, o ensaio foi realizado com aditivo superplastificante para a relação a/c de 0,475, pois com o uso do plastificante não foi possível atingir a fluidez necessária para realizar o ensaio, no qual indica-se o teor de 0,8%.

4.1.4 Concreto

Para obter a curva de Abrams, o cálculo dos traços básicos 1:m:x (m=a+p) foram determinados para três relações água/cimento (a/c) de 0,350, 0,475 e 0,650 os cimentos CP V-ARI e CP II Z, e de 0,300, 0,475 e 0,650 para o cimento CP IV, com os teores de água e argamassa obtidos através dos ensaios de trabalhabilidade, adotando consistência pelo abatimento do tronco de cone 100 ± 20 mm.

O teor água/materiais secos (H) foi determinado por tentativa, para cada aglomerante e considerando o uso de aditivos. O valor de H adotado foi constante para as três relações a/c. A partir do valor de teor de umidade, foi calculado o agregado total, através da equação (7).

$$m = \frac{100 \cdot x}{H} - 1 \quad (7)$$

Onde x é a relação a/c e H o teor de umidade (%).

O teor ideal de argamassa (α) foi determinado experimentalmente, variando a quantidade de agregado miúdo até encontrar a melhor proporção que preencheu os vazios do agregado graúdo e conferiu o abatimento especificado. Para esse estudo manteve-se constante o teor de argamassa para as três relações a/c.

Experimentalmente determinou-se o teor de água/materiais secos e teor de argamassa, fixando esses parâmetros para todos os traços em $H=8,22$ e $\alpha=0,50$.

A eventual falta de consistência nos ensaios de abatimento foi compensada com o uso de aditivos, de modo que a massa de água seja sempre a mesma, conforme a lei de Lyse, utilizando a equação (8), onde x é o teor de líquido do aditivo.

$$\text{Líquidos totais} = \text{massa de água} + \frac{x, \text{ massa de aditivo}}{\gamma_{\text{aditivo}}} \quad (8)$$

Ao todo foram moldadas três famílias de traços de concreto. Na Tabela 9 são apresentadas as nomenclaturas e os materiais aglomerantes para cada traço.

Tabela 9 – Nomenclatura das famílias de concreto.

<i>Nomenclatura</i>	<i>Cimento</i>
IIR	CP II-Z
IVR	CP IV
VR	CP V-ARI

Para cada família, foram moldados três traços, um para cada relação a/c previamente descrita, para cada traço foram moldados 3 corpos de prova (CPs) cilíndricos, seguindo as diretrizes da norma NBR 5738 (ABNT, 2008).

Após a moldagem, os CPs foram submetidos a cura úmida, nas condições estabelecidas pela NBR 5738 (ABNT, 2008), por vinte e oito dias; quando foram capeados por enxofre novo e passaram pelo ensaio de resistência à compressão axial, seguindo as instruções da NBR 5739 (ABNT, 2007).

A Tabela 10 apresenta os traços determinados para cada relação a/c e tipo de cimento, e a respectiva média de resistência à compressão axial aos 28 dias de idade.

Tabela 10 – Traços e resistência à compressão axial aos 28 dias para traçar a curva de Abrams.

	Traço Unitário	a/c	Aditivo (%)	Resistência média (MPa)	Abatimento (mm)
IIR35	1:1,14:2,12	0,350	0,4 (superplastificante)	60,3	100
IIR475	1:1,90:2,88	0,475	-	41,3	80
IIR65	1:2,97:3,94	0,650	-	21,3	100
IVR30	1:0,83:1,82	0,300	0,6 (superplastificante)	62,3	80
IVR475	1:1,90:2,88	0,475	-	32,7	80
IVR65	1:2,97:3,94	0,650	-	16,7	100
VR35	1:1,14:2,12	0,350	0,8 (plastificante)	77,3	80
VR475	1:1,90:2,88	0,475	-	58,3	85
VR65	1:2,97:3,94	0,650	-	35,3	110

Através dos resultados obtidos aos vinte e oito dias, foi traçada a curva de Abrams, que estabelece a relação de dependência da resistência do concreto e a relação a/c, para cada conjunto de traços.

As curvas com as respectivas equações estão apresentadas na Figura 9, com os dados do CP II-Z, do CP IV e do CP V-ARI. Todos os dados obtiveram coeficiente de determinação (r^2) muito alto.

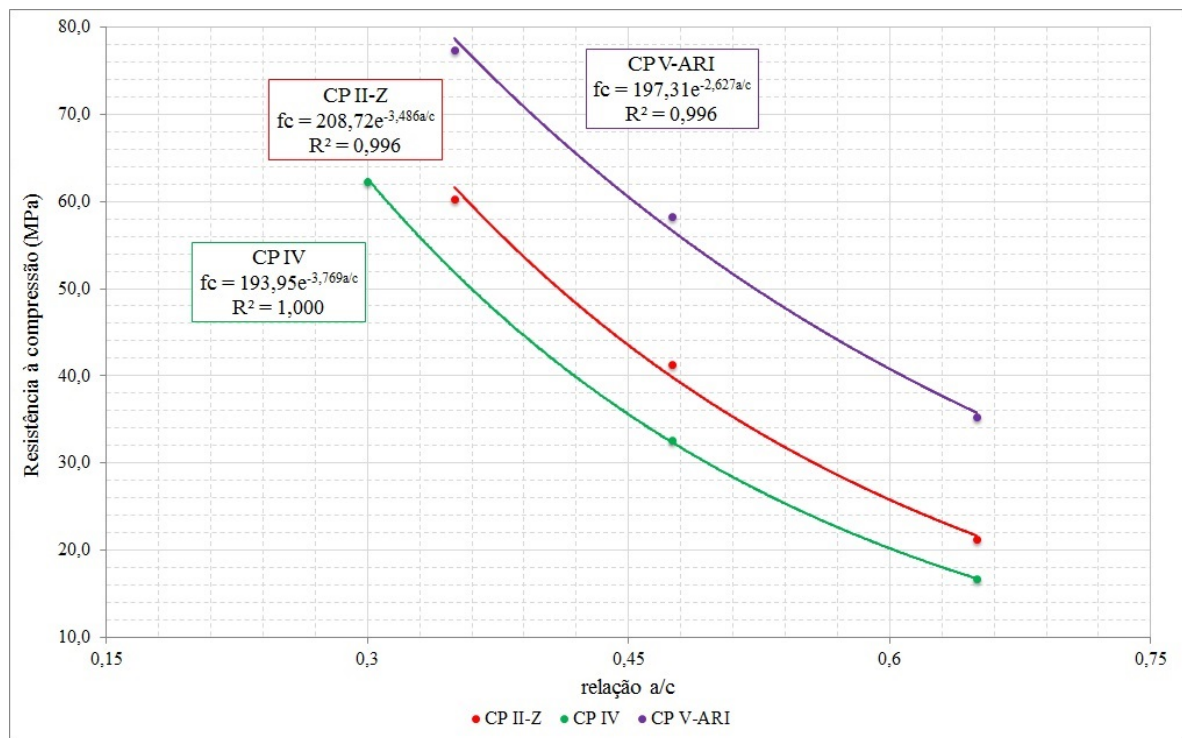


Figura 9 – Curva de Abrams para os três tipos de cimento.

Em posse da curva, foram definidas as relações a/c correspondentes aos dois níveis de resistência desejados, para cada cimento Portland.

4.1.5 Impactos ambientais e preços

Definiram-se as categorias de impactos, seguindo o modelo de análise do ciclo de vida modular (ACV-m), proposto pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), que visa a identificação de cinco impactos mínimos (CBCS, 2014):

- i. Mudanças climáticas: emissões de gases do efeito estufa, como os gases dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), metano (CH₄), vapor de água.
- ii. Uso de recursos naturais: consumo de recursos não renováveis 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: acumulação de resíduos com risco de contaminação ambiental e desperdício de recursos;
- v. Consumo de água: contribuição para o stress hídrico e suas consequências.

O método de avaliação utilizado foi o Eco-Indicador 99, pois além de ser bastante utilizado pela comunidade científica, oferece uma maneira de medir diferentes impactos ambientais, engloba as classes de impacto citadas acima e está presente na estrutura de cálculos do programa computacional SimaPro 8.0.2, software que foi utilizado nas fases posteriores.

Para encerrar a primeira etapa, com os resultados obtidos no cálculo de pilar e dosagem do concreto, elaboraram-se fichas de composição de preços unitários para cada hipótese de pilar; os índices físicos foram extraídos da Tabela de Composição de Preços de Obra (TCPO), 13ª edição (TCPO, 2010) e dos resultados obtidos experimentalmente e os índices financeiros foram coletados na tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, referente a agosto de 2013, Porto Alegre-RS (BRASIL, 2013) e em fornecedores locais. As fichas de composições estão apresentadas no Apêndice C.

4.1.6 Software SimaPro

O SimaPro é um programa computacional que oferece recursos para realizar uma análise do ciclo de vida. O programa surgiu em 1990 e atualmente, em versão 8.0.2, é utilizado para realizar avaliação de produtos, processos e serviços por indústrias, consultorias e universidades em mais de oitenta países.

Por meio do uso dessa ferramenta é possível coletar, analisar e monitorar o desempenho ambiental de produtos. Ele contém vários métodos de avaliação de ciclo de vida em sua estrutura de cálculo e acessa diferentes bibliotecas de dados.

A estrutura dos métodos de avaliação, no SimaPro, são divididas em: caracterização, na qual as substâncias identificadas, para cada categoria de impacto, são multiplicadas por um fator de caracterização, que expressa a sua contribuição no dano; avaliação de danos, as substâncias quantificadas na caracterização são agrupadas e associadas a um indicador; normalização, os indicadores são padronizados para comparação; e a ponderação, alguns métodos de avaliação permitem a ponderação entre categorias de impacto, ou seja, são multiplicados por um fator de ponderação.

As bibliotecas contidas no programa possibilitam ao usuário rastrear os dados de todas as etapas do ciclo de vida do produto, além disso, é possível adicionar inventários, a partir da inserção de substâncias e suas emissões ou através da seleção de elementos do acervo do programa. O banco de dados Ecoinvent é compatível com o SimaPro, que oferece dados estruturados em unidade de processo, análise de inventário (unidades de processo agrupadas) e a avaliação do ciclo de vida (inventários multiplicados por um fator de caracterização).

O programa possui opções de filtragem para todos os resultados, agrupa os resultados, traça gráficos e fluxogramas e lista todas as matérias-primas utilizadas e as emissões geradas.

4.2 Análise de inventário do ciclo de vida

Nesta etapa, foram preparados questionários, apresentados no Apêndice A, para a coleta de dados sobre as unidades de processo, visando descrevê-las. Para formular as questões consultaram-se Braga (1996) e Callenbach et al. (1993) que tratam de gerenciamento e auditorias ambientais. Para coletar os dados referentes à extração e transporte de agregados foram visitadas a empresa onde o agregado miúdo foi comprado e a pedreira que forneceu o agregado graúdo.

As informações sobre os cimentos Portland foram coletadas na fábrica cimenteira no Paraná, onde dois tipos de cimento utilizado no estudo foram produzidos.

Os inventários dos aditivos, da madeira e da água, foram utilizados da base de dados do SimaPro, observando as propriedades e características de cada um, escolhendo os mais similares, pois não foi possível coletar dados brasileiros referentes aos materiais. O uso de dados externos não terá grande influência no resultado final, visto que a pesquisa visa apontar, dentro das opções estudadas, a mais sustentável, tendo em vista a natureza comparativa entre as variáveis que compõem o pilar de concreto.

Os dados sobre o aço foram retirados do “Relatório de Sustentabilidade do Aço”, ano base 2012, do Instituto Aço Brasil (Instituto Aço Brasil, 2013)

Após a coleta, realizou-se a validação dos dados. Foram estabelecidos os fluxos de entrada e saída de material e energia para cada unidade de processo do sistema relacionado ao produto, calculados da seguinte maneira:

1. Classificar os fluxos elementares em “entrada” ou “saída”, a partir dos dados;
2. Uniformizar os dados para quantidade.mês⁻¹;
3. Calcular o total de material, combustível e energia envolvido em todo o processo unitário;
4. Dividir o total de cada insumo pelo total de material principal produzido, em quilograma (kg).
5. Obter os fluxos de entrada e saída de cada unidade de processo.

Além disso, foram necessários os cálculos dos fluxos elementares da energia elétrica, do óleo diesel e do explosivo utilizado na pedreira.

Para calcular o fluxo elementar do combustível, foi transformado volume em massa, e determinado a energia associada em g.kWh⁻¹ para poder calcular os fatores de emissão para um litro de óleo diesel, considerando apenas o uso do combustível.

Os fatores de emissões da queima do óleo diesel, Tabela 11, foram obtidos da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA 315/2002 (BRASIL,2002). O poder calorífico do óleo diesel utilizado foi de 9,87 MWh.m⁻³ e a massa específica adotada, de 0,825 kg.dm⁻³ (Petrobrás, 2013).

Tabela 11 – Fatores de emissão do óleo Diesel (CONAMA 315/2002)

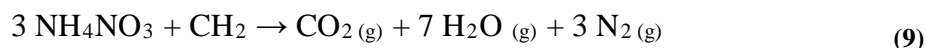
Elemento	Fator de emissão (g.kWh⁻¹)
CO – Monóxido de Carbono	5,45
HC - Hidrocarbonetos	0,78
NO _(x) – Óxidos de Nitrogênio	5,00
MP – Material Particulado	0,16

O fluxo elementar para 1 litro de diesel foi obtido através da conversão do consumo de diesel em massa para energia, o total de energia consumida foi multiplicado pelo fator de emissão para cada uma das substâncias emitidas. Esses valores são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Emissões relacionadas a 1 L de diesel.

Emissão	Quantidade
CO	53,792 g
HC	7,699 g
NO _(x)	49,350 g
MP	1,579 g

Para quantificar as emissões relacionadas ao explosivo em forma de lama (*slurry*), utilizado na pedreira visitada, considerou-se a reação química da mistura de 94,5% de nitrato de amônia e 5,5% de diesel (SILVA, 2009) apresentada na equação (9).



A partir da reação do explosivo, calculou-se a massa de cada uma das emissões. As massas atômicas dos elementos químicos, retirados da tabela periódica, estão apresentadas na Tabela 13 e as massas molares do nitrato de amônia, diesel e de cada produto da reação estão apresentadas na Tabela 14.

Tabela 13 – Massa Atômica dos elementos químicos envolvidos na reação química do *slurry*.

Elemento Químico	Massa Atômica (u)
H - Hidrogênio	1
C - Carbono	12
N - Nitrogênio	14
O - Oxigênio	16

Tabela 14 – Massas molares do explosivo e dos produtos da reação química da mistura.

Molécula	Massa Molar (g.mol ⁻¹)
NH ₄ NO ₃ - nitrato de amônia	80
CH ₂ - óleo diesel	14
CO ₂ - dióxido de carbono	44
H ₂ O(g) - vapor água	18
N ₂ - gás nitrogênio	28

O fluxo para 1 g de explosivo *slurry* foi obtido considerando a quantidade de cada produto resultante da reação química dessa substância: calcularam-se quantos mols de nitrato de amônia e diesel estão contidos em 1 g do explosivo e multiplicou-se a quantidade de mols pela massa molar de cada produto da reação, os valores são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Substâncias químicas relacionadas a 1 g de explosivo.

Emissão	Quantidade
NH ₄ NO ₃ - nitrato de amônia	0,945 g
CH ₂ - óleo diesel	0,055 g
CO ₂ - dióxido de carbono	0,173 g
H ₂ O(g) - vapor água	0,496 g
N ₂ - gás nitrogênio	0,331 g

Para quantificar as emissões provenientes da energia elétrica, utilizou-se um fator de emissão médio mensal de uma série de dados de outubro de 2012 a setembro de 2013, Tabela 16, publicados pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (BRASIL, 2013). A média resultou em 0,103 t CO₂.MWh⁻¹.

Tabela 16 – Fatores de emissão, provenientes da energia elétrica, de outubro de 2012 a setembro de 2013. (adaptado de BRASIL, 2013)

Mês-Ano	Fator de Emissão (t CO ₂ .MWh-1)
out/12	0,098
nov/12	0,125
dez/12	0,117
jan/13	0,115
fev/13	0,109
mar/13	0,098
abr/13	0,096
mai/13	0,115
jun/13	0,108
jul/13	0,084
ago/13	0,083
set/13	0,084

Obteve-se diretamente o fluxo elementar de energia elétrica para 1 kWh, apresentado na Tabela 17.

Tabela 17 – Emissões relacionadas a 1 kWh de energia elétrica.

Emissão	Quantidade média
CO ₂	0,103 kg

O cálculo de cada fluxo de material, os pressupostos adotados e os dados coletados para brita 1, areia média, cimentos e aço estão descritos no Apêndice B.

Os fluxos elementares obtidos foram inseridos no programa SimaPro.

4.3 Avaliação de impactos do ciclo de vida

Com auxílio do programa computacional SimaPro, foram calculados eco indicadores para cada uma das classes de impactos ambientais estabelecidas na primeira fase da ACV.

O cálculo da avaliação de impactos é realizado a partir da análise das substâncias envolvidas no sistema e comparadas com a tabela, estabelecida pelo método selecionado, de quais substâncias influenciam em cada categoria de impacto. Desse modo, para cada categoria é adotado um indicador para calcular o peso daquele impacto potencial.

O método de avaliação 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 pode ser entendido como uma lista estatística, determinada por diversas convenções médicas, de fatores para cada deficiência. 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). $m^2 \cdot ano$; e para a classe dos “recursos” – esgotamento de minerais e combustíveis fósseis – é expresso em MJ de energia excedentes.

Posteriormente, os indicadores de cada categoria são uniformizados, dividindo o grupo de impacto por um número referência, e os resultados apresentados em unidade Pt. Um Pt equivale a um milésimo da carga ambiental média anual de um cidadão europeu, esse valor foi calculado dividindo o total da carga ambiental da Europa pelo seu número de habitantes, multiplicado por 1000, fator de escala adotado. (MHSPE, 2000)

4.4 Interpretação do ciclo de vida

Na última fase do estudo, foram analisados os resultados técnicos, ambientais e financeiros obtidos e para cada aspecto foi adotado um indicador. O parâmetro técnico adotado é a resistência à compressão do concreto expressa em megapascal (MPa), adotando-se a resistência de dosagem. Para caracterizar o vetor econômico utilizou-se a unidade monetária brasileira, o real (R\$), obtido a partir da composição de custos unitários com a incidência dos encargos sociais no valor total da mão de obra e, para as questões ambientais, o total de Pt, calculador no SimaPro.

Os resultados obtidos, para cada um dos parâmetros estabelecidos, foram convertidos em índices proporcionais baseados nos valores de um pilar de referência, para facilitar a comparação. O pilar referência foi determinado a partir da análise qualitativa e quantitativa da integração das três variáveis, na qual indicou-se a melhor alternativa. Portanto, os valores de cada parâmetro de cada hipótese de pilar foram divididos pelo respectivo parâmetro do pilar referência, o qual representa o valor 100.

Plotou-se um gráfico com os dois pontos, referente aos índices de custo e impactos, e traçou-se uma reta, para fins de comparação entre as alternativas.

Além disso, analisou-se a sustentabilidade baseada na massa de gás carbônico equivalente e custo por unidade de resistência à compressão. O gás carbônico equivalente, que leva em consideração a equivalência de potencial de aquecimento global das demais substâncias em relação ao dióxido de carbono, foi calculado adotando os fatores publicados no “Quarto Relatório de Avaliação” do painel intergovernamental de mudanças climáticas (IPCC, 2007) e

o potencial da água foi retirado da publicação de “Consumo Sustentável – manual de educação” (BRASIL, 2005).

CAPÍTULO 5

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo reúne o dimensionamento dos pilares, os resultados da dosagem experimental dos traços de concreto, as quantidades de materiais e composições de custo dos pilares, a análise do ciclo de vida e a análise de sustentabilidade do pilar com cada tipo de cimento de resistência característica.

São discutidos o consumo de cimento e clínquer (kg.m^{-3}), o custo (R\$) e o gás carbônico equivalente por unidade de resistência (MPa). Além disso, discutem-se os impactos ambientais agrupados nas categorias pré-definidas.

5.1 Dimensionamento dos pilares

Os parâmetros de projeto para o cálculo da seção do pilar de concreto, para dois níveis de resistências, estão listados na Tabela 18.

Tabela 18 – Parâmetros para cálculo da seção do pilar de concreto (baseados em um projeto padrão)

Parâmetro	Valor
Força normal de cálculo (N_d)	1.200 kN
Componente de momento na direção de um eixo vertical y (M_{yd})	55 kN.m
Componente de momento na direção de um eixo horizontal x (M_{xd})	78 kN.m
Resistência característica à compressão do concreto (F_{ck})	30 e 50 MPa
Cobrimento	25 mm
Pé direito	2,75 m

A partir desses dados procedeu-se o cálculo das seções transversais, taxa de armadura e a verificação quanto à flexão composta oblíqua. Além disso, foi possível calcular a área de forma necessária para executar os pilares. Os resultados estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Dimensões dos pilares

	Pilar com f_{ck} 30	Pilar com f_{ck} 50
Seção Transversal (cmxcm)	25x45	20x40
Área da seção (cm^2)	1.125	800
Armadura (número de barras)	10 barras de CA-50* Φ 10mm	
Armadura (kg)	16,97	
Estribos (espaçamento)	CA-60** 5 mm a cada 12 cm	
Estribos (kg)	4,43	3,72
Total de aço (kg)	21,40	20,69
Área de forma (m^2)	3,575	3,025

*CA-50 Φ 10mm = 0,617 kg.m^{-1} (Fonte: Gerdau, 2013)

**CA-60 Φ 5mm = 0,154 kg.m^{-1} (Fonte: Gerdau, 2013)

5.2 Dosagem do concreto

Através da equação resultante, foi possível calcular as relações a/c para as resistências de dosagem, 36,6 e 56,6 MPa. Os traços definitivos e a média de resistência à compressão aos 28 dias estão apresentados no Tabela 20.

Tabela 20 – Traços definitivos e resistência à compressão axial aos 28 dias.

	Traço Unitário	a/c	Consumo de cimento (kg.m-3)	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	-

*C: Consumo de cimento por m³.

A quantidade de material por metro cúbico de cada traço está apresentada na Tabela 21.

Tabela 21 – 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 (S*)
IV 30	395,23	671,89	1.059,22	174,69	0,79 (P**)
IV 50	534,79	534,79	1.058,88	174,88	2,14 (S)
V 30	276,64	805,02	1.073,36	177,05	-
V 50	374,94	712,39	1.079,83	178,10	-

*S: superplastificante **P: plastificante

Calcularam-se as quantidades de cimento e clínquer consumidos para atingir 1 MPa de resistência à compressão de dosagem, dividindo o consumo de cimento pela resistência média ao 28 dias (36,6 e 56,6 MPa), os resultados estão apresentados na Tabela 22. As quantidades de clínquer adotadas foram as mesmas listadas no Apêndice B.

Tabela 22 – Relação de cimento, clínquer e materiais secos por MPa.

Traço	kg de cimento. m⁻³ MPa⁻¹	kg de clínquer. m⁻³ MPa⁻¹	kg de materiais secos m⁻³. MPa⁻¹
II 30	9,66	7,57	58,71
II 50	8,36	6,56	38,14
IV 30	10,80	6,82	58,10
IV 50	9,45	5,97	37,61
V 30	7,56	7,01	58,88
V 50	6,62	6,14	38,29

Nota-se que, apesar de o consumo de cimento por metro cúbico aumentar quando se aumenta a resistência de dosagem, a quantidade de cimento requerida para agregar 1 MPa de

resistência diminui. Além disso, é possível apontar o cimento CP IV como sendo aquele que necessita a menor quantidade de clínquer por MPa.

Porém, ao contrário do que se esperava, o cimento CP II-Z necessita de mais clínquer por megapascal do que o CP V-ARI, para os dois níveis de resistência estudados. Este resultado deve-se ao fato de que embora o CP II tenha 15,40% menos clínquer do que o CP V-ARI, esse tem seu consumo de cimento por metro cúbico em média de 21,27% inferior, onde nesse caso, é o fator determinante. Este fato é derivado das maiores relações a/c do CPV-ARI para atingir os dois níveis de resistência, de acordo com a Tabela 19.

Portanto, a alternativa com o menor consumo de clínquer é o CPIV50, seguida por CPV50 e CPIIZ50, as três para f_{ck} de 50 MPa. Observa-se claramente que há uma pequena diferença entre as alternativas II50 e IV30, mas se considerar o consumo de materiais secos, nota-se que aumentar a resistência característica sempre, nesse estudo, é a opção que demanda menos quantidade de materiais, contribuindo para a desmaterialização do concreto e sua sustentabilidade.

5.3 Composição unitária de quantidades e custos

Através da determinação da seção transversal das hipóteses de pilar de concreto armado e da definição dos traços, foi possível quantificar o consumo de material e o custo. O consumo de materiais componentes do concreto, por pilar, está apresentado na Tabela 23. O percentual de encargos sociais adotados foi de 144,22%, valor praticado pelo Governo do Estado do Rio Grande do Sul em suas obras públicas, a composição desse valor está apresentada no Anexo A.

Tabela 23 – Quantidade de materiais por pilar.

	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (kg)	Aditivo (kg)
II 30	109,34	224,15	331,31	54,67	-
II 50	104,15	134,35	236,41	39,05	0,3124 (S*)
IV 30	122,27	207,87	327,69	54,04	0,2445 (P**)
IV 50	117,65	117,65	232,95	38,47	0,4706 (S)
V 30	85,59	249,05	332,07	54,77	-
V 50	82,49	156,73	237,56	39,18	-

*S: superplastificante **P: plastificante

A composição da forma de madeira e armadura para pilares de concreto armado, bem como a composição unitária de quantidades e custos para cada alternativa de pilar está apresentada no Apêndice C.

A Tabela 24 apresenta o custo de cada um dos pilares sem considerar o valor de Benefícios e despesas indiretas (BDI), somente com os encargos sociais obrigatórios.

Tabela 24 – Custo de cada alternativa de pilar.

Pilar	Custo sem encargos sociais (R\$.pilar ⁻¹)	Custo com encargos sociais (R\$.pilar ⁻¹)
CP II-Z $f_{ck}=30$	323,53	495,70
CP II-Z $f_{ck}=50$	304,18	467,52
CP IV $f_{ck}=30$	323,89	496,07
CP IV $f_{ck}=50$	305,96	469,38
CP V-ARI $f_{ck}=30$	340,68	513,70
CP V-ARI $f_{ck}=50$	318,09	482,12

Através do cálculo dos custos para executar cada alternativa de pilar, conclui-se que aumentar a resistência característica implica em economia financeira, pois para as três famílias de concreto esta afirmação é verdadeira, devido a menor quantidade de materiais.

Ao comparar as alternativas para $f_{ck}=50$, observa-se que o pilar com CP II-Z apresenta o menor custo e o mais caro refere-se ao pilar com CP V-ARI. O custo por unidade de megapascal está apresentado na Tabela 25. Observa-se ainda que as diferenças dos custos unitários entre cimentos para o mesmo f_{ck} são pequenas, inferiores a 5%, enquanto que o decréscimo do f_{ck} de 50 para 30 MPa ocasiona aumento de quase 40%.

Tabela 25 – Relação de custo por MPa.

Traço	R\$ (sem encargos). MPa ⁻¹	R\$ (com encargos). MPa ⁻¹
II 30	8,84	13,54
II 50	5,37	8,26
IV 30	8,85	13,55
IV 50	5,41	8,29
V 30	9,31	14,04
V 50	5,62	8,52

5.4 Análise do ciclo de vida

Após calcular os fluxos de materiais e incluí-los no programa computacional SimaPro 8.0.2, montou-se as hipóteses de pilar de concreto armado. Além dos dados obtidos nessa pesquisa, foram utilizados três fluxos de materiais da biblioteca do programa sendo “*polycarboxylates, 40% active substance*” como aditivo superplastificante, “*plywood, outdoor use, at plant*” como madeira compensada utilizada para as fôrmas e “*tap water, at user*” como água tratada.

Através do cálculo realizado pelo SimaPro foi possível verificar os impactos ambientais potenciais associados a cada uma das alternativas.

Analisou-se separadamente cada categoria, estabelecida na primeira fase da análise do ciclo de vida. Na Figura 10 apresenta-se a quantificação de “Mudanças Climáticas”, as três primeiras barras referem-se aos pilares com $f_{ck}= 30$ MPa e os demais referem-se aos pilares

com $f_{ck}=50$ MPa. Observa-se que os pilares com $f_{ck}=50$ MPa apresentam os menores potenciais. No que se refere aos tipos de cimento, o melhor posicionado é o CP IV, seguido por CP V-ARI e, por último, o CP II-Z. A quantidade de clínquer total por pilar é a provável principal explicação para a ordem de colocação de cada um dos pilares, onde para o nível de 50 MPa, o CP IV tem $74,28 \text{ kg de clínquer.pilar}^{-1}$; o CP V-ARI soma $76,48 \text{ kg de clínquer.pilar}^{-1}$; e o CP II-Z totaliza $81,69 \text{ kg de clínquer.pilar}^{-1}$.

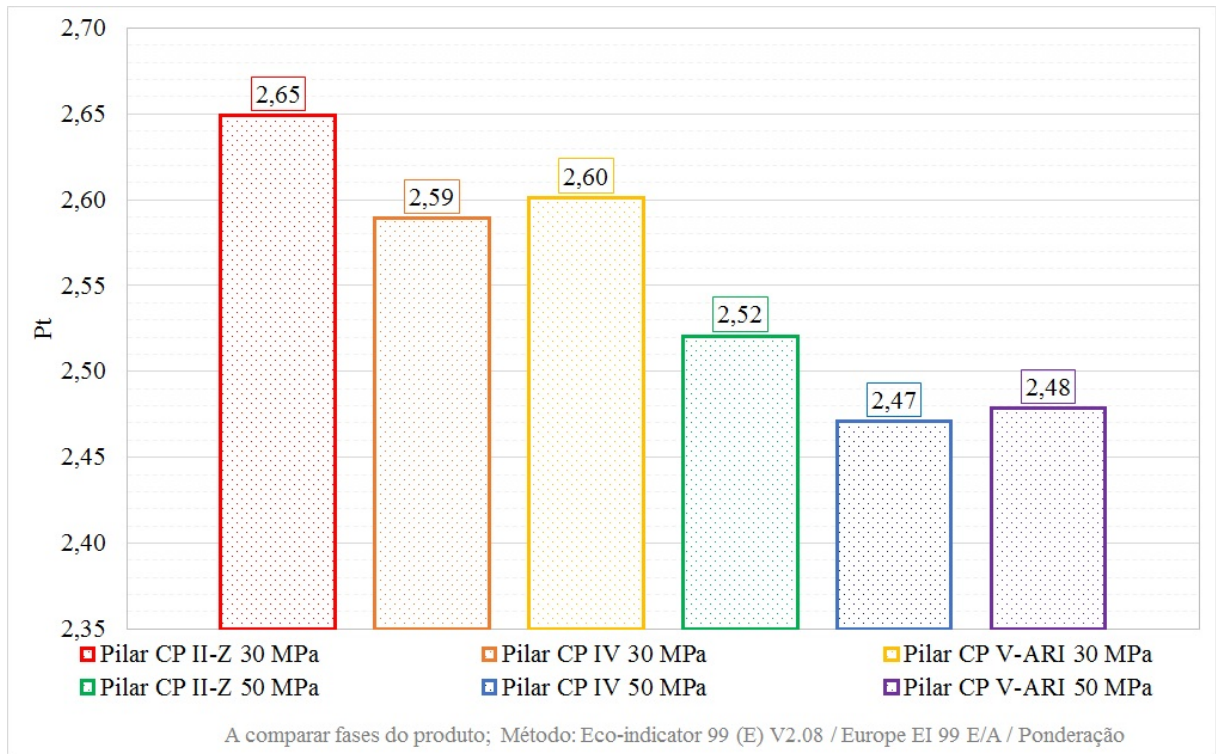


Figura 10 – Mudanças climáticas.

* um Pt equivale a um milésimo da carga ambiental média anual de um cidadão europeu.

Na categoria de “Uso de Recursos Naturais”, que engloba o uso de minerais e combustíveis fósseis, os resultados estão apresentados na Figura 11, onde nota-se que os pilares de $f_{ck}=50$ MPa, primeiras barras, estão melhores posicionados do que os de $f_{ck}=30$ MPa, demais barras. Ao comparar os aglomerantes, em primeiro lugar aparece o CP V-ARI, seguido por CP II-Z e CP IV, sendo que a diferenças entre estes eles é muito pequena, pois os coeficientes de variação foram 0,2% para 30 MPa e 0,4% para 50 MPa, podendo-se considerar iguais para fins práticos.

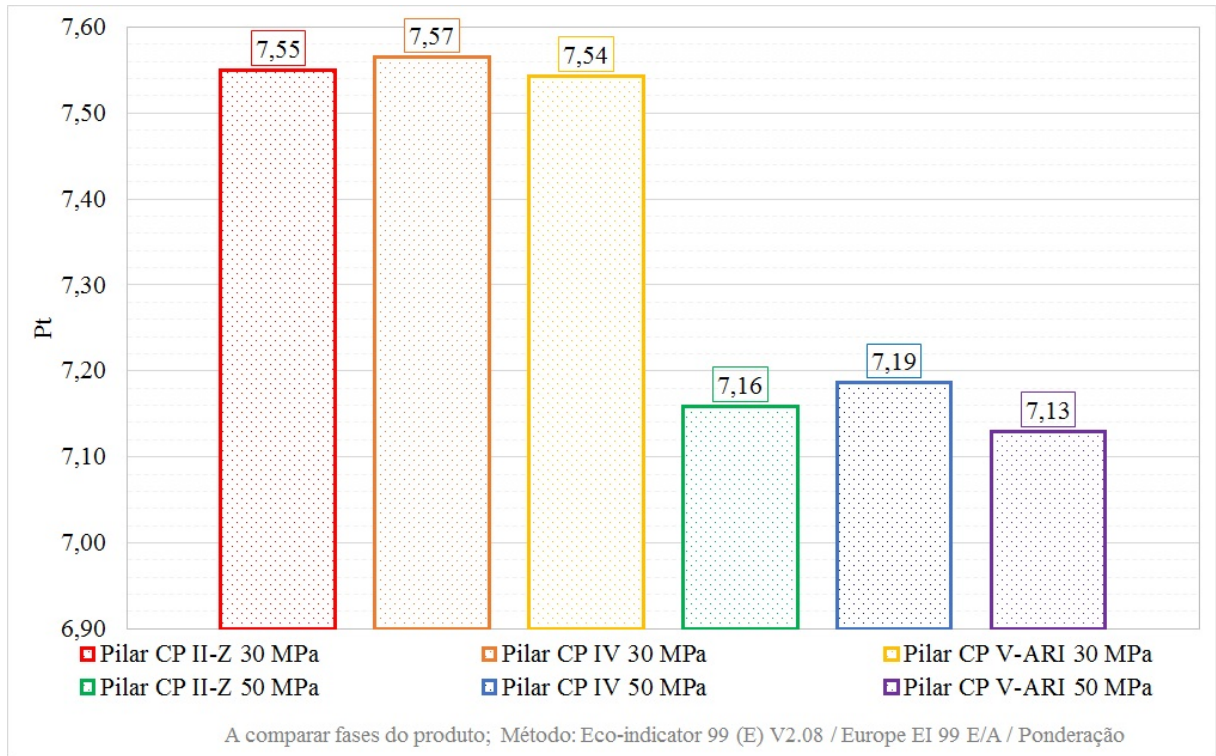


Figura 11 – Uso de recursos naturais.

Para “Consumo de energia” confrontou-se o consumo de energia em mega Joules (MJ), exposto na Figura 12. Observa-se que não há uma variação significativa entre os dois níveis de resistência, 30 MPa (primeiras barras) e 50 MPa (demais barras), com diferenças em média de 3,9%. Ao comparar os tipos de cimento, observa-se que o mais eficiente é o CP V-ARI, seguido por CP II-Z e CP IV, embora as diferenças entre eles sejam pequenas pois, para os dois níveis de resistência, é de apenas 7,5% para o coeficiente de variação.

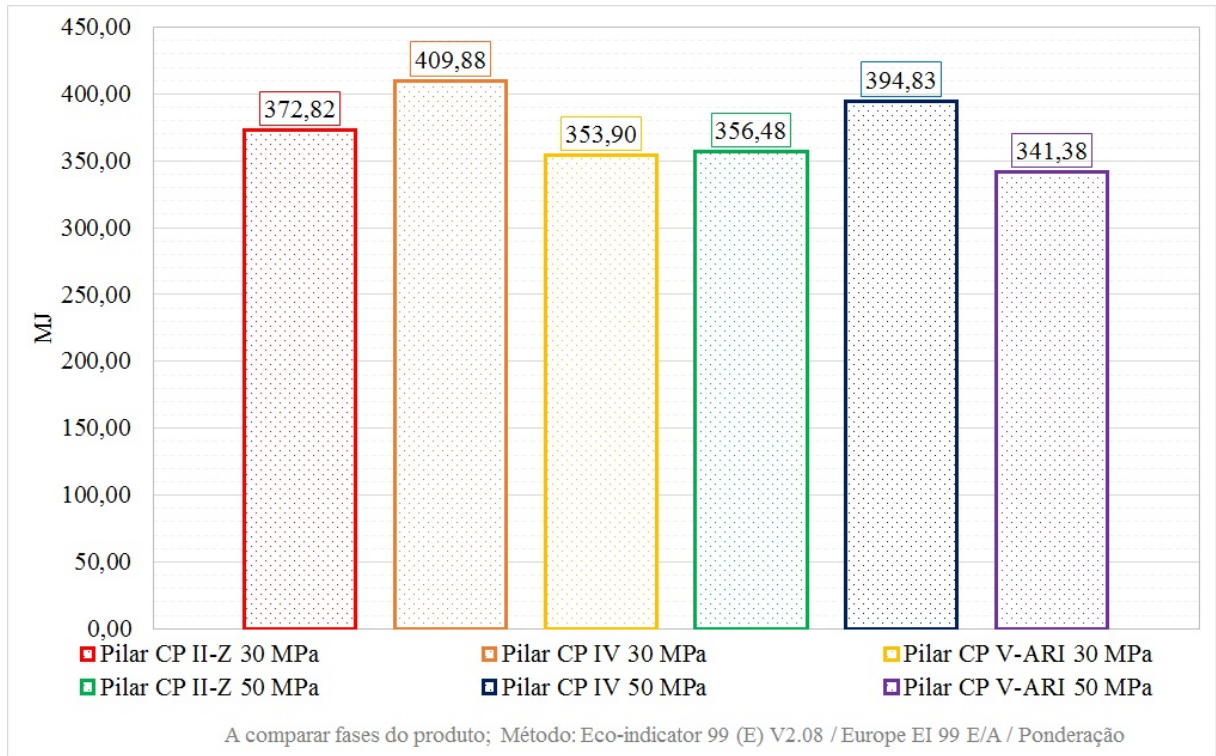


Figura 12 – Consumo de energia.

Para caracterizar a “Geração de Resíduos” adotou-se as categorias que apresentam risco para a contaminação do solo e dos recursos hídricos de acidificação/eutrofização. Não considerou-se a geração de resíduos na obra, pois seria necessário adotar uma hipótese, o que acrescentaria incertezas. A Figura 13 apresenta os resultados, onde nota-se que as alternativas com resistência de 50 MPa (três últimas barras) são as melhores opções. Quanto a comparação entre os tipos de cimento não há diferenças significativas, variando de 0,18 a 0,63%.

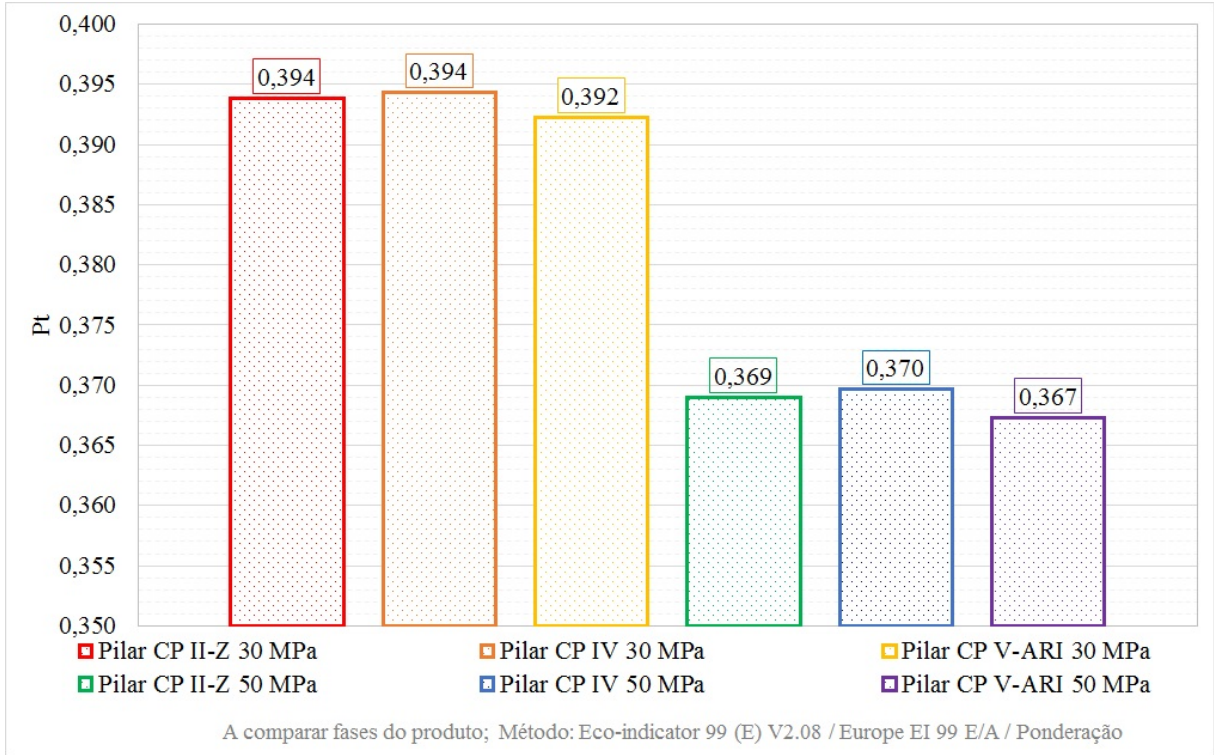


Figura 13 – Geração de resíduo.

O “Consumo de Água” foi estabelecido com base no inventário que lista as matérias-primas utilizadas. A Figura 14 apresenta o consumo de água de cada alternativa, onde observa-se que o menor consumo refere-se ao CP IV, seguido por CP II e CP V-ARI em ambas resistências, embora com diferenças entre si inferiores a 0,9%. A relação a/c influencia diretamente nesse resultado.

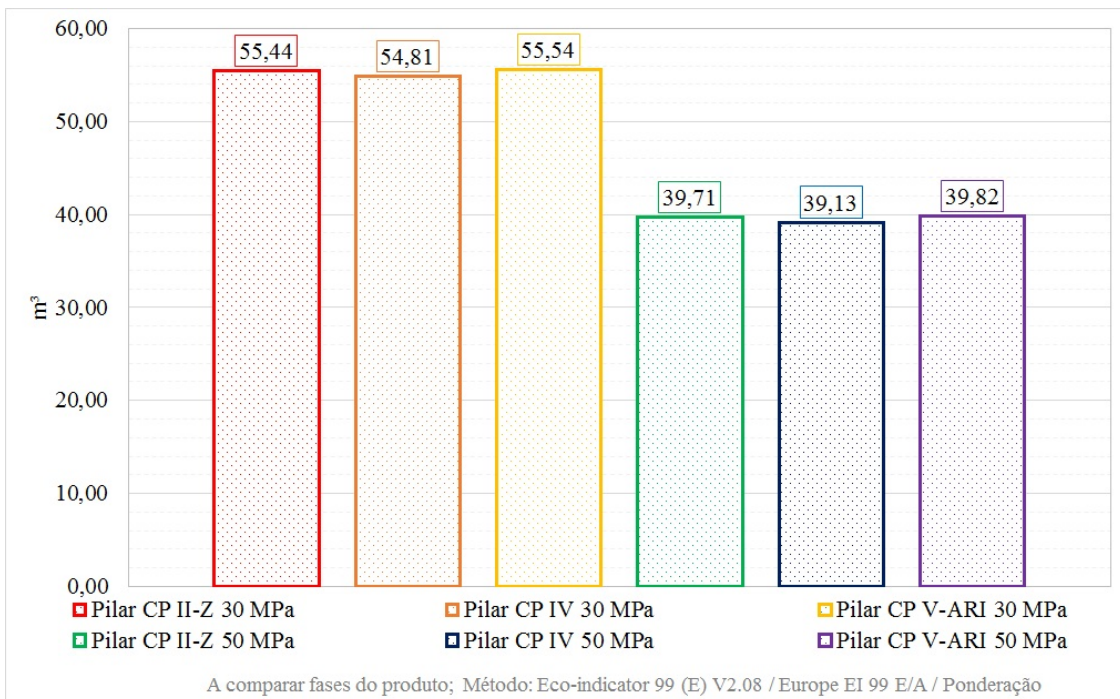


Figura 14 – Consumo de água.

A Figura 15 apresenta a soma de todos os impactos, expresso em pontuação de danos para cada classe (saúde humana, qualidade dos ecossistemas e recursos) em Pt; um Pt equivale a um milésimo da carga ambiental média anual de um cidadão europeu.

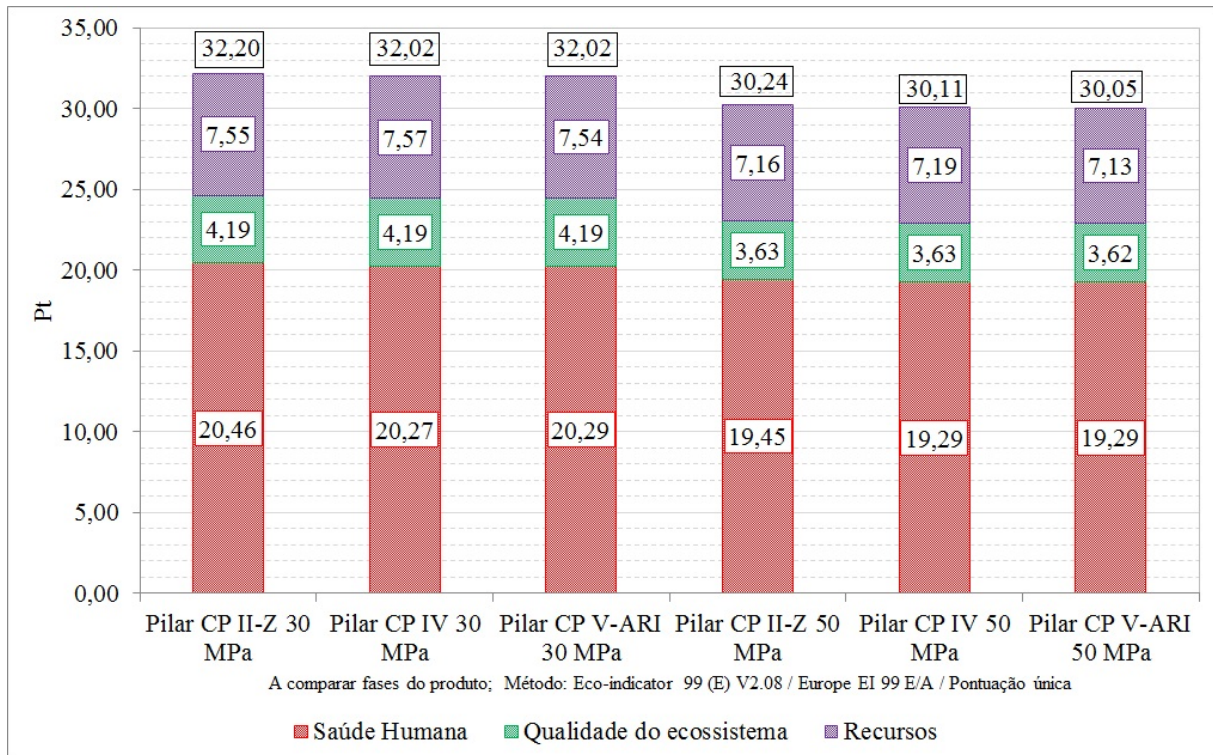


Figura 15 – Avaliação de danos ambientais potenciais.

No geral a classe mais afetada é a de saúde humana, seguida por recursos e, por último, a qualidade dos ecossistemas. Ao comparar as alternativas de pilares, constata-se que para menor nível de resistência, 30 MPa (três primeiras barras), maior impacto. Ao comparar os três tipos de cimento, dentro de cada grupo as diferenças foram muito pequenas, inferiores a 0,3% para o coeficiente de variação. Em números absolutos a opção com CP V-ARI é a menos impactante com uma pontuação total, para 50 MPa, de 30,05 Pt. Para os pilares com $f_{ck}=30$ MPa a pontuação foi acima de 32 Pt, onde o CP IV 32 e o CP V-ARI somaram 32,02 Pt cada um.

Além disso, o programa computacional gerou o inventário de emissões de cada um dos pilares estudados, exposto no Apêndice D.

A contribuição de cada um dos processos, em percentual, para o impacto total, está apresentada na Tabela 26. Nota-se que o aço, utilizado para armadura, contribui em média 66,3% do potencial de impacto do pilar de concreto armado, seguido pela madeira, utilizada como forma para executar o pilar, que contribui com cerca de 20%. Em terceiro lugar aparece

o cimento, componente do concreto, contribuindo em torno de 9%. As demais unidades de processo contribuem com menos de 1% cada.

Tabela 26 – Contribuição de cada processo para os impactos, em percentagem.

(%)	CPII-Z 30	CPIV 30	CPV-ARI 30	CPII-Z 50	CPIV 50	CPV-ARI 50
Aço	64,66	65,71	65,71	67,10	67,37	67,50
Madeira	21,00	20,69	20,69	18,49	18,56	18,60
Água potável	0,0031	0,0030	0,0031	0,0023	0,0023	0,0023
Cimento CPII-Z 32	9,82	-	-	9,85	-	-
Cimento CP IV 32	-	9,12	-	-	9,39	-
Cimento CP V- ARI	-	-	9,21	-	-	9,50
Aditivo	-	-	-	0,12	0,18	-
Óleo Diesel	0,95	0,95	0,87	0,80	0,83	0,74
Energia Elétrica	0,20	0,20	0,19	0,20	0,20	0,19
Explosivos	0,0007	0,0007	0,0007	0,0008	0,0007	0,0007

Analisaram-se os resultados por unidade de resistência à compressão, em megapascal, MPa, do total de impactos e dos impactos em separado, considerando três decimais, apresentados na Tabela 27. Verificou-se que para análise de todos os impactos conjuntos e em separado o aumento de resistência diminui o potencial de impacto do pilar. Quanto aos tipos de cimento, para todos os impactos e $f_{ck}=50$ MPa, CP V-ARI apresenta o melhor índice, seguido por CP IV e CP II-Z, com diferenças inferiores a 1%. Para $f_{ck}=30$ MPa, os menores valores são de CP IV e CP-ARI, seguido por CP II-Z, também com diferenças inferiores a 1%.

Tabela 27 – Relação de impactos por MPa.

Impactos – Pt MPa ⁻¹	CPII-Z 30	CPIV 30	CPV-ARI 30	CPII-Z 50	CPIV 50	CPV-ARI 50
Todos os Impactos	0,880	0,875	0,875	0,534	0,532	0,531
Mudanças Climáticas	0,072	0,071	0,071	0,045	0,044	0,044
Uso de Recursos	0,206	0,207	0,206	0,126	0,127	0,126
Energia	10,186	11,199	9,669	6,298	6,976	6,031
Geração de Resíduos	0,011	0,011	0,011	0,007	0,007	0,006
Uso de Água	1,515	1,498	1,518	0,702	0,691	0,704

Para Mudanças Climáticas, a melhor alternativa é CP IV e CP V-ARI, seguido por CP CP II-Z, com diferenças mínimas de 2,22% para $f_{ck}=50$ MPa e de 1,39% para $f_{ck}=30$ MPa.

No que se refere ao uso de recursos, ao comparar os três tipos cimento, a melhor opção é CP V-ARI e CP II-Z, seguido por CP IV, com diferença de 0,79% para $f_{ck}=50$ MPa e de 0,48% para $f_{ck}=30$ MPa.

No consumo de energia, verifica-se que, para ambas as resistências, CP V-ARI tem menor consumo, seguido por CP II-Z e CP IV, com diferenças variando em média de 5% (CP II-Z e CP IV) a 15% (CP V-ARI e CP IV). Já para a geração de resíduos, não há diferenças entre os tipos de cimento, apenas 0,69% entre os níveis de resistência.

Para o consumo de água, para ambas as resistências, o menor consumo é do CP IV, seguido por CP II-Z e CP V-ARI, com diferenças em média de 1,41%.

Os resultados da Tabela 27 mostram que, individualmente, o maior impacto ambiental ocasionado pelo pilar de concreto é o consumo de energia, quase sete vezes maior, em média, do que o uso de água, segundo colocado; seguido do uso de recursos que representa cerca de 1/50 do consumo energético. As mudanças climáticas representam cerca de 1/150 e a geração de resíduos 1/1000 do primeiro colocado, mostrando que, em ordem decrescente de grandeza, para efeito de sustentabilidade, a energia e o consumo de água são os maiores impactos causados pelo concreto ao meio ambiente.

Observa-se, também, pela Tabela 27, que a análise unitária de resistência (por MPa) é o modo mais eficiente de comparar os resultados dos impactos entre os tipos de cimento e os níveis de resistência. Analisando-se todos os impactos, as diferenças entre os três tipos de cimento, para os dois níveis de resistência, foram muito pequenas, inferior a 0,3% para o coeficiente de variação. Entretanto quando a resistência à compressão subiu de 30 MPa para 50 MPa os impactos totais decresceram 77%, em média, tomando-se 50 MPa como referência, comprovando-se mais uma vez que o aumento do f_{ck} é muito mais eficiente do que a mudança do tipo de cimento, isto é, a desmaterialização é o principal fator que influi na sustentabilidade do concreto. Os dados revelam que o menor impacto total ocasionado pelo uso de menos materiais para a construção do pilar com $f_{ck} = 50$ MPa, não se refere tanto à redução dos materiais em si e, sim, principalmente, pela menor energia consumida e no uso da água, desde que os recursos utilizados na unidade funcional representam, aproximadamente, apenas 2% do impacto da energia total neles embutida,

5.5 Análise de Sustentabilidade dos Pilares

Ao tabular os parâmetros, resistência à compressão de dosagem, em MPa, pontuação de impacto ambiental (ACV), em Pt, e custo, em R\$, foi possível comparar as seis alternativas estudadas. A Tabela 28, apresenta os valores reais das três variáveis e os índices proporcionais ao valor referência. Adotou-se como referência o pilar com CP IV e $f_{ck} = 50$ MPa ($I = 100$), pois é aquele que apresenta os melhores resultados, em conjunto, das variáveis estudadas. Apesar de não obter a melhor pontuação na ACV e nem o menor custo, a diferença entre o primeiro

colocado é mínima, através da comparação dos índices pode-se observar essa afirmação. Já as alternativas com CP II-Z e CP V-ARI, para $f_{ck} = 50$ MPa, nota-se que a mescla entre as variáveis é muito próxima, ou seja, o índice de custo de um se equivale ao de impacto do outro e vice-versa. Para $f_{ck} = 30$ MPa, o CP IV apresenta quase que o mesmo índice da alternativa com menor valor para os impactos ambientais e econômicos, com variações insignificantes, portanto, o índice de custo é muito próximo ao do CP II-Z e para os danos ambientais se assemelha ao CP V-ARI. Para esse nível de resistência, apesar de valores muito próximos, o pilar com CP V-ARI é ligeiramente melhor do que aquele com CP II-Z.

Tabela 28 – Valores reais e índices dos parâmetros avaliados, por pilar

	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
Resistência à compressão f_{c28} (MPa)	36,60	36,60	36,60	56,60	56,60	56,60
Custo (R\$)	495,70	496,07	513,70	467,52	469,38	482,12
Impacto ambiental (Pt)	32,20	32,02	32,02	30,24	30,11	30,05
Índice Custo	105,61	105,69	109,44	99,60	100,00	102,71
Índice Impacto ambiental	106,94	106,34	106,34	100,43	100,00	99,80

A Tabela 29 mostra os mesmos resultados da Tabela 27 por unidade de resistência à compressão (MPa^{-1}) na idade do pilar de concreto a 28 dias (f_{cj}). Observam-se as mesmas tendências analisadas na Tabela 26 em que o tipo de cimento, para cada nível de resistência, não apresenta variações detectáveis como significantes (6% para $f_{ck} = 30$ Mpa e 3 % para $f_{ck} = 50$ MPa), Os índices de custo e do impacto ambiental apresentaram comportamento semelhantes, com mínima variação para 50 MPa no cimento CPV-ARI (3%) e entre 63% e 69% para 30 MPa para o custo e impacto ambiental.

Assim como visto na Tabela 27 para o impacto ambiental total, a Tabela 29 reproduz a mesma tendência para o custo unitário por MPa, embora com diferenças um pouco menores para o impacto ambiental total, 65% em média, para 50 MPa, tomado como referência, e 66%, em média para o custo por MPa. Novamente comprova-se o melhor desempenho frente a sustentabilidade do pilar de concreto projetado e executado com f_{ck} mais elevado, não só para o impacto ambiental total como para o custo.

Tabela 29 – Valores reais e índices dos parâmetros avaliados, por MPa

	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
Custo (R\$.MPa⁻¹)	13,54	13,55	14,04	8,26	8,29	8,52
Impacto ambiental (Pt.MPa⁻¹)	0,880	0,875	0,875	0,534	0,532	0,531
Índice Custo	163	163	169	100	100	103
Índice Impacto ambiental	166	164	164	100	100	100

Plotaram-se os índices por pilar, ilustrado na Figura 16, onde o valor referência está representado pela linha tracejada. Nota-se que as alternativas com resistência maior ($f_{ck} = 50$ MPa), apresentam menores impactos econômicos (de 99,6 a 102,7) e ambientais (99,8 a 100,43) do que para $f_{ck} = 30$ MPa, onde o custo varia de 105,61 a 109,44 e os danos ambientais de 106,34 a 106,94. Observa-se que amplitude de variação entre os custos, das alternativas de pilar feitas com diferentes níveis de resistência, é de 9,8 enquanto que a amplitude para as questões ambientais é de 7,14.

No que se refere aos cimentos, nota-se que, para $f_{ck} = 50$ MPa, os resultados são muito próximos, onde indica-se o CP IV como a melhor opção e, embora com variações mínimas, CP II-Z e CP V-ARI dividem o segundo lugar. Já para $f_{ck} = 30$ MPa, CP V-ARI e CP II-Z são a segunda e terceira melhor opção, respectivamente, porém com pequenas diferenças. De modo geral, percebe-se diferenças menores entre os três tipos de cimento, de modo contrário, o nível de resistência exerce mais influência nos resultados.

Para ambas resistências o menor custo é para o CP II-Z e o maior para CP V-ARI. Embora o CP V-ARI apresenta o menor consumo de cimento, em média 25%, comparado aos demais, tem o maior consumo de agregados e o preço do kg de cimento é em média 40% superior aos demais tipos estudados.

Já para os impactos, o CP V-ARI é a alternativa menos impactante para $f_{ck} = 50$ MPa, pois apesar de conter a proporção entre kg clínquer.MPa⁻¹ superior ao CP IV (segundo menor impacto), o traço com cimento pozolânico necessitou do uso de aditivos a base de policarboxilatos. Ainda assim, a diferença é irrelevante. Para o $f_{ck} = 30$ MPa, o menos impactante é o CP IV empatado com CP V-ARI, seguido por CP II-Z.

Na Figura 17 plotaram-se os índices por MPa, onde o valor referência está representado pela linha tracejada. Nota-se que para $f_{ck} = 50$ MPa os índices são iguais, exceto para o custo do CP V-ARI, pouco mais elevado que os demais. Para $f_{ck} = 30$ MPa a amplitude de variação é ligeiramente maior, porém inexpressiva.

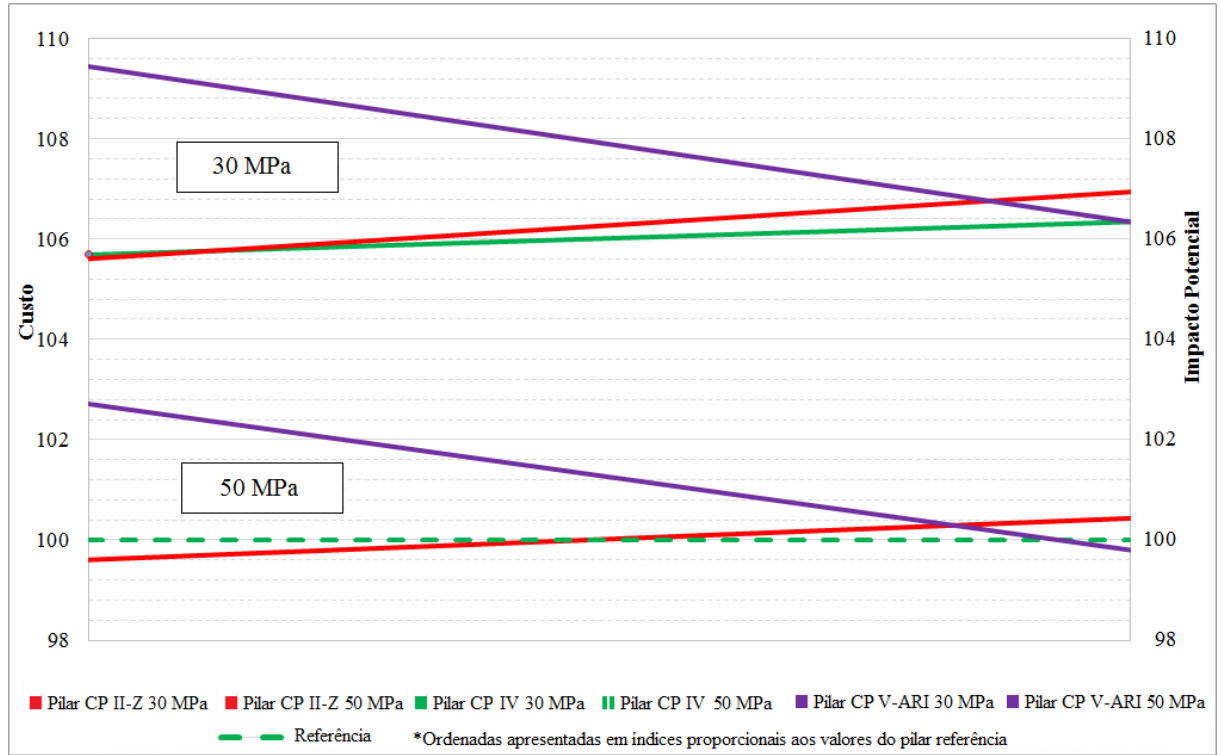


Figura 16 – Análise de sustentabilidade dos pilares, por pilar.

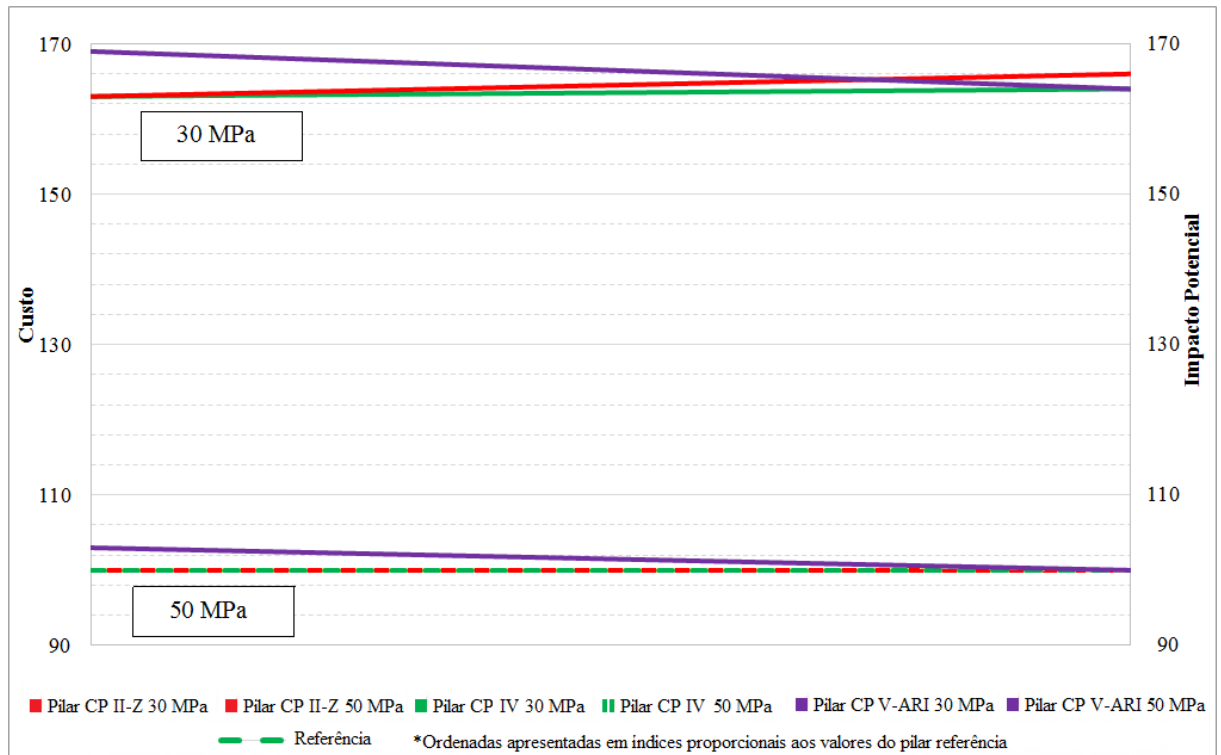


Figura 17 – Análise de sustentabilidade dos pilares, por MPa.

5.6 Análise da Pegada de Carbono

O cálculo de o gás carbônico equivalente (CO₂E) para cada um dos pilares foi efetuado a partir dos resultados encontrados no inventário. Esse índice foi utilizado pois é uma medida internacionalmente aceita e expressa a influência dos produtos na categoria de aquecimento global, uma das principais preocupações ambientais desse século. Os gases considerados foram aqueles listados no “Quarto Relatório de Avaliação” (IPCC, 2007) e o vapor de água. A Tabela 30 apresenta os gases do inventário de emissões considerados nesse cálculo e os fatores de equivalência.

Tabela 30 – Gases e fatores de equivalência.

Substância	Fator de equivalência
Água	0,0176
Clorofórmio	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
Etano, 1,2- dicloro - 1 ,1,2,2 - tetrafluoro -, CFC - 114	10000
Hexafluoreto de enxofre	22800
Metano, clorodifluoro -, HCFC - 22	1810
Metano, dichlorofluoro -, HCFC - 21	151
Metano, fóssil	25
Metano, trifluoro -, HFC - 23	14800
Metano, biogênicos	25
Metano, bromoclorodifluormetano, Halon 1211	1890
Metano, bromotrifluoro -, Halon 1301	7140
Metano, dichlorodifluoro -, CFC-12	10900
Metano, trichlorofluoro -, CFC-11	4750
Óxidos de nitrogênio	298

O total de emissão de cada uma dessas substâncias foi multiplicado pelo fator de equivalência e, para cada alternativa de pilar, somados. O total de gás carbônico equivalente para cada pilar está listado na Tabela 31.

Tabela 31 – Gás carbônico equivalente total para cada pilar.

Pilar	CO ₂ e (kg.pilar ⁻¹)
CP II-Z $f_{ck}=30$ MPa	428,98
CP IV $f_{ck}=30$ MPa	429,53
CP V-ARI $f_{ck}=30$ MPa	427,65
CP II-Z $f_{ck}=50$ MPa	400,78
CP IV $f_{ck}=50$ MPa	401,64
CP V-ARI $f_{ck}=50$ MPa	399,08

O gás carbônico equivalente foi calculado em proporção à resistência à compressão de dosagem de cada concreto e listado juntamente com o custo por unidade de resistência, na Tabela 32, para facilitar a análise. Constatou-se que os pilares com $f_{ck}=50$ MPa são mais sustentáveis. Para o CO_2e , verificou-se que o CP V-ARI é a melhor alternativa, seguida por CP II-Z e CP IV. A diferença entre os dois primeiros é de 1%; entre o CP IV e o primeiro é de 0,61% e entre CP II-Z e CP IV é de 0,23%.

Tabela 32 – Gás carbônico equivalente e custo por unidade de resistência à compressão do concreto.

Pilar	CO_2e .MPa⁻¹	R\$ (com encargos). MPa⁻¹
CP II-Z $f_{ck}=30$ MPa	11,72	13,54
CP IV $f_{ck}=30$ MPa	11,74	13,55
CP V-ARI $f_{ck}=30$ MPa	11,68	14,04
CP II-Z $f_{ck}=50$ MPa	7,08	8,26
CP IV $f_{ck}=50$ MPa	7,10	8,29
CP V-ARI $f_{ck}=50$ MPa	7,05	8,52

Novamente aqui observa-se que o tipo de cimento tem pouca influência tanto na emissão do CO_2e quanto no custo, por MPa. As diferenças aparecem quando há decréscimo do f_{ck} de 50 para 30 MPa, quando a emissão unitária de CO_2e e custo aumentam em torno de 40%

5.7 Comentários finais

Através desse estudo foi possível verificar que, para todas as características abordadas, o aumento de resistência característica do concreto proporcionou melhor desempenho ambiental, econômico e técnico ao pilar.

A seção transversal do pilar reduziu 28,9%, reduzindo proporcionalmente, o volume de concreto. A quantidade de madeira, para as formas, diminuiu 15,4%. Já a seção de aço manteve-se a mesma para ambas as resistências, 30 e 50 MPa.

Os impactos ambientais potenciais, por MPa, reduziram em média de 64,5% entre o pilar de 30 e 50 MPa, para cada tipo de cimento. Quanto ao custo, reduziram em média 64% o custo por MPa de execução do pilar.

Portanto, para todos os parâmetros analisados verificou-se que o aumento da resistência característica exerceu maior influência.

Quanto a comparação entre os três tipos de cimento estudados, CP II-Z, CP IV e CP V-ARI, constatou-se que há variações pequenas nos valores dos parâmetros por unidade de resistência à compressão. Para o custo, as diferenças são inferiores a 6%. Já para os impactos

ambientais, pode-se considerar que, para todos eles, mudanças climáticas, uso de recursos naturais, geração de resíduos e para consumo de água, não há diferenças expressivas entre eles. Apenas a categoria de consumo de energia apresenta diferença, entre CP IV e CP V-ARI, a diferença é em torno de 15,7% e entre CP II-Z e CP IV é em torno de 9% e entre CP II-Z e CP V-ARI a diferença é em média 5%.

6 CONCLUSÕES

Essa análise do ciclo de vida e custos parcial teve como propósito comparar seis hipóteses de pilar, com dois níveis de resistência mecânica e três tipos de cimentos, visando indicar a opção mais sustentável para o projeto em questão.

A análise de sustentabilidade englobou as etapas de obtenção/fabricação, transportes, e processamento das matérias-primas até a execução do pilar em obra, do berço ao portão. A coleta de dados foi realizada nas empresas fonte dos materiais utilizados nessa pesquisa, porém, não foi possível obter informações referentes a alguns produtos. Desse modo, utilizaram-se inventários da biblioteca do SimaPro 8.0.2 e alguns dados foram estimados e outros retirados de outras publicações.

Primeiramente obteve-se a seção transversal de concreto e armadura para os dois níveis de resistência estudados, onde foi possível reduzir a geometria do pilar, de 25x45 cm para 20x40 cm, com o aumento da resistência característica de 30 para 50 MPa e manter a mesma seção de aço para ambas. Devido a diminuição da geometria, a área de formas de madeira para concreto também reduziu, de 3,575 m² para 3,025 m² (-15%), e o volume de estribos necessários baixou de 534,50 cm³ para 474,18 cm³ (-11%). Portanto, essa estratégia caracteriza-se como uma desmaterialização por aumento de resistência.

Para analisar o desempenho ambiental foi necessário adotar parâmetros, ou seja, selecionar as classes de impacto que seriam discutidas: mudanças climáticas, uso de recursos naturais, consumo de energia, geração de resíduos, consumo de água e o efeito combinado dos potenciais danos. A partir do levantamento do inventário do ciclo de vida foi possível analisar os impactos ambientais. Constatou-se que para todos os parâmetros adotados o aumento de resistência característica do concreto agrega melhor desempenho ambiental ao elemento estrutural. Considerando apenas as alternativas com nível de resistência de 50 MPa, o CP IV apresentou menor impacto ambiental nas categorias de ‘mudanças climáticas’, “e “consumo de água”; o CP V-ARI é a melhor escolha quando considerado as categorias de “consumo de energia”, “geração de resíduos” e “uso de recursos naturais”.

Ao considerar a combinação de todos os potenciais dos impactos ambientais, a melhor alternativa é aquela com CP V-ARI, seguida por CP IV e, por último, CP II-Z. Porém, há uma diferença de apenas 0,2% entre o primeiro e segundo colocados. Conclui-se que apesar de o CP V-ARI conter um teor de clínquer (processo mais impactante da fabricação de cimento) mais elevado, o consumo total de cimento foi inferior às demais opções, devido ao menor consumo por m³.

Considerando a demanda por materiais, observou-se que as alternativas com CP IV consumiram menos, seguida por CP V-ARI e CP II-Z. Apesar de o consumo de cimento ser menor para o CP V-ARI, demanda mais agregados. Ao que se refere aos níveis de resistência, verificou-se que com o aumento da resistência, diminuiu a demanda por materiais.

Quanto às questões econômicas, verificou-se que o menor custo associa-se ao CP II-Z, seguido por CP IV e CP V-ARI. O CP II-Z necessita de menos cimento do que um pilar de CP IV e seus preços são muito próximos, varia em 10%. O CP V-ARI, apesar de necessitar menos cimento do que as demais alternativas, tem seu preço em média de 40% mais elevado. Comparando os níveis de resistência, com $f_{ck}=50$ MPa tiveram seu custo inferior a um pilar com $f_{ck}=30$ MPa, devido à demanda por materiais.

A partir da integração dos resultados técnicos, econômicos e ambientais, foi possível apontar as melhores alternativas em termos de sustentabilidade. Verificou-se a partir da integração do valor total de resistência à compressão de dosagem, custo e pontuação de potencial de impactos ambientais, onde verificou-se que a melhor alternativa é aquela com CP IV, seguido por CP II-Z e CP V-ARI, todos com $f_{ck}=50$ MPa. Novamente, os pilares com menor resistência apresentaram os piores resultados comparados aos pilares com maior resistência. Para $f_{ck}=30$ MPa a melhor solução também é aquela com CP IV, seguido por CP II-Z e CP V-ARI.

Observou-se também a sustentabilidade em termos proporcionais, de custo e gás carbônico equivalente, em razão da resistência à compressão. Constatou-se que a melhor alternativa é aquela com CP II-Z, seguido por CP IV e CP V-ARI, embora com diferenças muito pequenas entre os dois primeiros.

A determinação da alternativa mais sustentável depende dos parâmetros adotados, pois ao analisar individualmente cada um deles tem-se uma solução diferente, além disso ao considerar apenas o parâmetro ambiental de dióxido de carbono equivalente a melhor alternativa é aquela com CP II-Z, porém, ao considerar todos os impactos potenciais envolvidos o CP IV mostra-se a melhor opção. Porém, a escolha do tipo de cimento não gera expressivas alterações nos aspectos ambientais, sociais e econômicos, portanto, para cada projeto, a escolha

da melhor solução deve ser feita baseada também em outras características técnicas e regionais, procurando atender aos requisitos de obra e diminuir as distâncias de transporte.

Portanto, para esse estudo de caso, concluiu-se que:

- i. O aumento da resistência característica do concreto implicou em maior sustentabilidade do elemento estrutural (desmaterialização);
- ii. O tipo de cimento não teve influência importante em relação ao nível de resistência, para os três cimentos estudados;
- iii. A solução mais sustentável, de acordo com os parâmetros estabelecidos na primeira fase da análise do ciclo de vida, é aquela com CP IV (menor teor de clínquer);
- iv. A melhor maneira de comparar os parâmetros associados aos pilares, com diferentes características, é através da análise por resistência unitária, por meio da qual as diferenças ficam mais visíveis do que ao comparar os valores em verdadeira grandeza, porém não significa que a unidade funcional adotada esteja inadequada. Destaca-se que a comparação pode ser facilitada pela análise de resistência unitária da unidade funcional;
- v. Na engenharia, não se pode deixar de considerar um quarto vetor para a sustentabilidade, que expressa às exigências técnicas, portanto, não se pode avaliar a sustentabilidade sem integrar os parâmetros técnicos do produto. Este parâmetro está ligado a durabilidade e melhor desempenho das peças estruturais de concreto, que aumentam à medida que a resistência característica é majorada.

Todas as conclusões dessa pesquisa representam apenas uma análise parcial do ciclo de vida do pilar, do berço ao portão, deste específico estudo de caso.

Para futuros estudos, sugere-se o estudo do segundo ciclo de vida das estruturas de concreto, ou seja, o comportamento de uma estrutura de concreto feita com agregados reciclados de concreto frente ao ataque de agentes agressivos e, ao final de sua vida útil, o estudo de viabilidade técnica para reciclar esse material novamente para uma terceira vida.

Além disso, o estudo comparativo entre o ciclo de vida e custos desse pilar de concreto e de pilares feitos de aço, para compor uma solução em aço para o mesmo projeto estudado, a partir do qual, será possível verificar qual material é mais sustentável para a edificação abordada.

7 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, sponsored by Committee on Sustainability of Technical Activities Committee. **Sustainable engineering practice: an Introduction**. Reston, Virginia: ASCE, 2004.

ANGULO, Sérgio, C; FIGUEIREDO, Antônio Domingues. Concreto com Agregados Reciclados. In. ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: ciência e tecnologia**. Volume 2. São Paulo: IBRACON. 2011b.

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. Série Sustentabilidade, v. 5. São Paulo: Blucher, 2011.

Agulló, L.; Toralles-Carbonari, B.; Gettu, R.; Aguado, A. Fluidity of cement pastes with mineral admixtures and superplasticizer – A study based on the Marsh cone test. **Materials and Structures**. Vol 32, pg. 479-485, Agosto-Setembro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7ª edição. São Paulo, ABCP, 2002. 28 p. (BT-106)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E REÍDUOS ESPECIALIZADOS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. ABRELPE, 2013. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br>>. Acesso em: 20 mai. 2013.

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**. São Paulo; ABNT, 2008.

_____. **NBR 5739 – Concreto – ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. São Paulo; ABNT, 2007.

_____. **NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto - procedimento**. São Paulo; ABNT, 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 8953 – Concreto para fins estruturais – classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência.** São Paulo; ABNT, 2011.

_____. **NBR 10004 - Resíduos sólidos – Classificação.** São Paulo; ABNT, 2004.

_____. **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.** São Paulo, ABNT, 2006

_____. **NBR 14040 – Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura.** São Paulo, ABNT, 2009

_____. **NBR 14044 – Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações.** São Paulo, ABNT, 2009

_____. **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 Ángeles”.** 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.

BATTAGIN, A.F. **Consulta.** [Mensagem pessoal]. Mensagem recebida por gisaia@terra.com.br em 03 abr. 2014.

BENTO, R.C; CARDOSO, P.F; KOMESU, A; OMETTO, A.R; ROSSI, E; ROSSIGNOLO, J.A. **Análise do desempenho ambiental de estruturas de concreto armado: uso da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).** In: 55º Congresso Brasileiro do Concreto, 55, 2013, Gramado. **Anais eletrônicos...** Gramado: Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 2013.

BRAGA, Benedito; HESPANHOL, Ivanildo; CONEJO, João G. Lotufo; MIERZWA, José Carlos; BARROS, Mario Thadeu L.de; SPENCE, Milton; PORTO, Mônica; NUCCI, Nelson; JULIANO, Neusa; EIGER, Sérgio. **Introdução à Engenharia Ambiental**, 2ª edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall. 2005.

BRAGA, Tânia de Oliveira. **Auditoria Ambiental: Uma proposta para empreendimentos mineiros.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas; Minuaçu – GO: SAMA. 1996.

BRANCO, Samuel Murgel; MURGEL, Eduardo. **Poluição do Ar.** São Paulo: editora Moderna. 1995.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº315/2002 –** Dispõe sobre a nova etapa do Programa de Controle de Emissões Veiculares – PROCONVE. 2002. Disponível em < www.mma.gov.br/conama > Acesso em: 15 mar. 2013

_____. Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira.** 7ª edição. IBRAM. 2012.

_____. Ministério da Educação. **Consumo sustentável – manual de educação.** MEC, 2005. 162p. Disponível em < portal.mec.gov.br/dmdocuments/publicacao8.pdf >. Acesso em: 12 set. 2013.

_____. **Sistema nacional de pesquisa de custos e índices da construção civil.** Disponível em < www.caixa.gov.br/sinapi >. Acesso em: 15 ago. 2013

BRE Environmental Profiles. **Product category rules for type III environmental product declaration of construction products to EM 15804.** BRE, 2012.

CALLENBACH, Ernest; CAPRA, Fritjo; GOLDMAN, Lenore; LUTZ, Rüdiger; MARBURG, Sandra. **Gerenciamento Ecológico.** São Paulo: Editora Cultrix. 1993.

CHEHEBE, José Rivamar B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos:** Ferramenta Gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed. 1998.

CHEN, C.; HABERT, G.; BOUZIDI, Y., JULLIEN, A. Environmental Impact of Cement Production: Detail of the Different Processes and Cement Plant Variability Evaluation. **Journal of Cleaner Production.** França, v. 18, n.5, p. 478-485, mar. 2010.

CIB. **Agenda 21 on Sustainable Construction.** Holanda: CIB Report Publication 237, 1999.

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.** Austrália, v.15, n.6, 549-556 p., jul 2010.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Projeto ACV-m:** Avaliação do Ciclo de Vida Modular. CBS. Disponível em <<http://www.acv.net.br/website/acvs/show.asp?ppgCode=B7EEA3A3-747A-457B-8210-EC73F949FB82>>. Acesso em 9 mai. 2014.

COSTA, Ademir. **Manual de Impactos Ambientais:** Orientações Básicas sobre Aspectos Ambientais de Atividades Produtivas. 1999.

CURRAN, Mary Ann. **Life Cycle Assessment: Principles and Practice.** Scientific Application International Corporation (SAIC): Reston, Virginia, USA, 2006. 88 p.

CYBIS, Luiz Fernando; SANTOS, Carlos Vicente John dos. **Análise do Ciclo de Vida (ACV) Aplicada à Indústria da Construção Civil – Estudo de Caso.** In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27., 2000, Porto Alegre. **Anais eletrônicos...** Porto Alegre: Asociación Interamericana de Ingenierá Sanitaria y Ambiental (AIDIS), 2000. Disponível em: < <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/impactos/vi-036.pdf>>. Acesso em: 6 mar. 2012.

DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho. Adições Minerais. In. ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. Volume 1. São Paulo: IBRACON. 2011a.

FARIAS, Carlos Eugênio Gomes. Contribuição de José Mário Coelho. **Mineração e Meio Ambiente no Brasil**. Relatório preparado para o CGEE. 2002.

FERRARI, Ronaldo. Cia de Cimento Itambé. **Co-Processamento de Resíduos Industriais em Fornos de Clínquer**. Balsa Nova, 2002. 19 p.

FIB. Fédération internationale du béton. **Guidelines for green concrete structures**. Task Group 3.8, Denmark, 2012

FLATT, R.J.; ROUSSEL, N.; CHEESEMAN, C.R. Concrete: Na eco material that needs to be improved. **Journal of the European Ceramic Society**. V. 32, n.11, 2787-2798 p., ago. 2012.

FULLER, S.; PETERSEN, S.; **Life-cycle costing manual for the federal energy management program**. Washington, DC: National Institute of Standards and Technology (NIST), 1995.

GERDAU. **Aço para Construção Civil**. Gerdau, Brasil. 8p. Disponível em <https://www.comercialgerdau.com.br/produtos/download/catalogos/catalogo_aco_para_constru%C3%A7ao_civil.pdf> Acesso em: 12 de set. 2013.

GOEDKOOOP, Mark; SPRIENSMA, Renilde. **The Eco-indicator 99 A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment**. Methodology Report. Third Edition. PRÉ Consultants B.V. Amersfoort, Netherland. 2001. 144 p.

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

HARTMANN, Carine; JEKNAVORIAN, Ara; SILVA, Denise; BENINI, Humberto. Aditivos químicos para concreto e cimentos. In. ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. Volume 1. São Paulo: IBRACON. 2011a.

INTERGOVERNMENT PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Fourth Assessment Report** – Global Warming Potentials (GWP) relative to CO₂. 2007.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14040: Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework**. Genève: ISO, 2006.

_____. **ISO 15686-5: Buildings and constructed assets - Service-life planning - Part 5: Lifecycle costing**. Genève: ISO, 2008.

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

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **CO₂ emissions from fuels combustion – highlights**. IEA, 2013. 158p.

ISAIA, Geraldo C. **Materiais para Construção Civil: Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. Volume 1. São Paulo: IBRACON. 2007.

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

JOANELO JR, Luiz Antônio. **Proposta de Metodologia de Gestão de Fluxo de Materiais e Energia na Construção de Canteiro de Obra**. 2009. 152 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental) - Universidade Positivo, Curitiba, 2009.

JOHN, Vanderley. Concreto sustentável. In. ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. Volume 2. São Paulo: IBRACON. 2011b.

JOHNSON, Timothy Werner. **Comparison of Environmental Impacts of Steel and Concrete as Building Materials Using the Life Cycle Assessment Method**. 2006. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 2006.

KEELER, Marian; BURKE, Bill. **Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis**. Tradução: Alexandre Salvaterra. Porto Alegre: Bookman. 2010.

LAFARGE. **Annual report. Registration document**. Lafarge, 2014. 290p.

LANGDOM, D. **Life cycle costing (LCC) as a contribution to sustainable construction: a common methodology**. Europa, 2007. 113 p.

LEE, Jacquetta J.; O'CALLAGHAN, P.; ALLEN D. Critical Review of Life Cycle Analysis and Assessment Techniques and their Application to Commercial Activities. **Resources, Conservation and Recycling**. Cranfield, v.13, n. 1,p. 37-56, mar. 1995.

LEE, C.Y.; LEE, H.K.; LEE, K.M. Strength and Microstructural Characteristics of Chemically Activated Fly Ash-Cement Systems. **Cement and Concrete Research**. Coréia do Sul, v.33, n.3, p. 425-431, mar. 2003.

LIBRELOTTO, Diógenes; JALALI, Said. Aplicação de uma Ferramenta de Análise do Ciclo de Vida em Edificações Residenciais – Estudo de Caso. **Revista Engenharia Civil**. Portugal, v.30, p-5-29. Jan. 2008.

LIPPIATT, Barbara C. **Manual BEES 3.0 – Building for Environmental and Economic Sustainability Technical Manual and User Guide**. National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg, MD. 2002.

LIU, M.; BURNS, S. A., WEN, Y. K. **Optimal seismic design of steel frame buildings based on life cycle cost considerations**. Earthquake Engineering & Structural Dynamics. v. 35, p. 1313–1332, jul. 2003.

LUKASIK, J.; DAMTOFT, J.S; HERFORT, D.; SORRENTINO, D.; GARTNER, E.M. Sustainable Development and Climate Change Initiatives. **Cement and Concrete Research**. Canada, v. 38, n. 2, p. 115-127, jul. 2007.

LÜTZKENDORF, T.; LORENZ, D. **The possible use of LCC & LCA for commercial property valuations: putting a value on ‘green’ building**. In: World Building Congress, 2004, Toronto. Disponível em: <http://www.property-advisors.de/documents/Putting_a_Value_on_Green_Buildings.pdf>. Acesso em: 17 dez, 2013.

MANO, Eloisa Biasotto; PACHECO, Élen B.A.V.; BONELLI, Claudia M. **Meio Ambiente, Poluição e Reciclagem**. São Paulo: Edgard Blücher. 2005.

MARINGOLO, Vagner. **Clínquer co-processado: produto de tecnologia integrada para sustentabilidade e competitividade da indústria de cimento**. 2001. Tese de doutoramento – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MARTIN, J. **Life cycle costs and sustainability**. 2009.1 dispositivo, color. Disponível em: < http://www.archinfo.it/whitepaper_library/LifeCycleCosts.pdf>. Acesso em: 17 dez, 2013.

MARTIN, Juan Fernando Matias. Adições Minerais. In. ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. Volume 1. São Paulo: IBRACON. 2011a.

MEARIG, Tim; COFFEE, Nathan; MORGAN, Michael. **Life Cycle Cost Analysis Handbook**. Department of Education & Early Development. Alaska. 1999. 30p.

MEHTA, P. Kumar e MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**, 3ª edição. São Paulo: Pini. 2008.

MEYER, C. The Greening of the Concrete Industry. **Cement & Concrete Composites**. New York, v. 31, n. 8, p. 601-605, set. 2009.

MILLER JR, G. Tyler. **Ciência Ambiental**. São Paulo: Thomson Learning. 2007.

MINISTRY OF HOUSING SPATIAL PLANNING AND THE ENVIRONMENT. **Eco-Indicator 99 Manual for Designs**. A damage oriented method for life cycle impact assessment. MHSPE, 2000.

MOTA Suetônio. **Introdução à Engenharia Ambiental**. Rio de Janeiro: ABES. 2000.

MÜLLER, Nicolas; HARNISCH, Jochen. **A Blueprint for a Climate Friendly Cement Industry**. World Wildlife Fund (WWF): Nürnberg, Alemanha, 2008, p. 101.

NAKAMURA, J. **Economia Concreta: Elevar a resistência do concreto pode gerar ganhos de espaço, prazo e dinheiro**. Revista Técnica, n. 115, out. 2006.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. Trad. Salvador E. Giammusso. 2 ed. São Paulo: Pini, 1997.

NORDIC INNOVATIONS CENTER. **Concrete for the environment** – a Nordic Network. Disponível em <http://www.nordicinnovation.org/Publications/concrete-for-the-environment-a-nordic-network/>. Acesso em 17 de dezembro de 2013.

NORRIS, G.A. Integrating Life Cycle Cost Analysis and LCA. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. North Berwick, v.6, n.2, p 118-120, mar. 2001

OCHSENDORF, John. In: **Life Cycle Assessment of Building**. Cambridge: Concrete Sustainability Hub - Massachusetts Institute of Technology, 2010. Disponível em: <<http://web.mit.edu/cshub/news/pdf/BuildingsLCASummaryDec2010.pdf>>. Acesso em: 6 mar. 2012.

OLSEN, Stig Irving; CRISTENSEN, Frans Moller; HAUSCHILD, Michael; PEDERSEN, Finn. Life Cycle Impact Assessment and Risk Assessment of Chemicals – a Methodological comparison. **Environmental Impact Assessment Review**. Lyngby, v. 21, n. 4, p. 385-404, jul. 2001.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Destaque**. Brasil, 2013. Disponível em <<http://www.onu.org.br/>>. Acesso em 04 abr. 2014.

PETROBRÁS. **Densidade e poderes caloríficos superiores**. Disponível em <<http://www.investidorpetrobras.com.br/pt/servicos/formulas-de-conversao/detalhe-formulas-de-conversao/densidade-e-poderes-calorificos-superiores.htm>>. Acesso em: 22 jul. 2013.

RECENA, Fernando A. Piazza. **Dosagem Empírica e Controle de Qualidade de Concretos Convencionais de Cimento Portland**. Porto Alegre, Edipucrs, 2002.

REIERSEN, John-Erik. **Facts and misconceptions**. 2011. 1 dispositivo, color. Disponível em: <[http://www.betong.cc/uploadedFiles/Bibliotek/Tracking%20down%20Co2rev\(1\).pdf](http://www.betong.cc/uploadedFiles/Bibliotek/Tracking%20down%20Co2rev(1).pdf)>. Acesso em: 22 jul. 2013

SAIC - SCIENTIFIC APPLICATIONS INTERNATIONAL CORPORATION. **Life Cycle Assessment: Principles and Practice**. Reston, 2006. 88 p.

SILVA, Aline de Oliveira. **Análise do Ciclo de Vida, do Berço ao Transporte, do Concreto Usinado Destinado à Confecção de Estruturas de Edificações em Curitiba-PR**. 2010. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil) – Universidade Positivo, Curitiba, 2010.

SILVA, Vanessa Gomes. **Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios de Escritórios Brasileiros: Diretrizes e Bases Metodológica**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SILVA, Valdir Costa. **Curso de min 210 – Operações mineiras**. Notas de aula. Universidade Federal de Ouro Preto, 2009.

SJUNNESSON, Jeannette. **Life Cycle of Concrete**. 2005. Dissertação (Trabalho de Mestrado em Engenharia Ambiental) - Lund Institute of Technology, Lund University, Sweden, 2005.

SOARES, Sebastião Roberto; PEREIRA, Sibeli Warmling; BREITENBACH, Francine Efigênia. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos Cerâmicos da Indústria de Construção Civil**. 2002. In: Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 28., 2002, Cancún. **Anais eletrônicos...** Cancún: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS), 2002. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/viii-055.pdf>>. Acesso em: 6 mar. 2012.

SOARES, Sebastião Roberto; SOUZA, Danielle Maia de; PEREIRA, Sibeli Warmling. **A avaliação do Ciclo de Vida no Contexto da Construção Civil**. In: SATTLER, Miguel Aloysio;

PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay (Editores). **Construção e Meio Ambiente**. Coletânea Habitare, v. 7. Porto Alegre: ANTAC. 2006. p. 96-127.

SONNEMAN, Guido; CASTELLS, Francesc; SCHUHMACHER, Marta. **Integrated Life-Cycle and Risk Assessment for Industrial Process**. United States of America: Lewis Publishers. 2004.

SQCB. Sustainability Quick Check Tool for Biofuels. Desenvolvido pelo EMPA Instituto Federal Suíço de Teste e Pesquisa de Materiais, HTW Berlin Computação Ambiental Industrial, Agroscope Reckenholz-Tänikon Estação de Pesquisa ART e PUNKTFABRIK em uma iniciativa do Governo da Suíça. Apresenta uma ferramenta para cálculos de emissões baseado na análise do ciclo de vida. Disponível em <<http://www.sqcb.org>> Acesso em: 12 ago. 2012.

TAN, Raymond R.; CULABA, Alvin B. **Environmental Life-Cycle Assessment: A Tool for Public and Corporate Policy Development**. Manila: De La Salle University. 2008?. Disponível em: <<http://www.imamu.edu.sa/topics/IT/IT%206/A%20Tool%20for%20Public%20and%20Corporate%20Policy%20Development.pdf>>. Acesso em: 06 mar. 2012

TARTUCE, Ronaldo; GIOVANNETTI, Edio. **Princípios Básicos sobre Concreto de Cimento Portland**. São Paulo, Pini : IBRACON, 1990.

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

UNEP - United Nations Environmental Programme. **Why take a life cycle approach?**. La Fenice Grafica, França, 2004. 24 p.

UNEP/SETAC Life Cycle Initiative. **Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products**. Editores: Catherine Benoît: UQAM/CIRAIG e Bernard Mazijn: Ghent University. Nairobi, 2009. 104 p.

USBERCO, João; SALVADOR, Edgard. **Química**. Volume único. 5ª edição. São Paulo, Saraiva, 2002.

USGS. U.S. Geological Survey National Minerals Information Center. **USGS Mineral Program Cement Report**. 2013. Disponível em: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/cement/>>. Acesso em: 17 Jun.

VALIPOUR, M.; YEKKLAR, M.; SHEKARCHI, M.; PANAH, S. Environmental assessment of green concrete containing natural zeolite on the global warming index in marine environments. **Journal of Cleaner Production**. V. 65, n.15, 418-423 p., fev. 2014.

VESILIND, P. Aarne; MORGAN, Susan M. **Introduction to Environmental Engineering**. Second Edition. United States of America: Belmont, CA. Thomson Brookscole. 2004.

VESILIND, P. Aarne; PEIRCE, J. Jeffrey; WEINER, Ruth F. **Environmental Engineering**. Third Edition. United States of America: Butterworth-Heineman. 1994.

World Business Council for Sustainable Development. **Cement Industry Energy and CO₂ Performance – “Getting the Numbers Right”**. WBCSD, 2006. Disponível em: < <http://www.wbcd.org> > . Acesso em: 10 set. 2012.

____> **The Cement Sustainability**. A sectorial approach: Greenhouse gas mitigation in the cement industry. WBCSD, 2012. Disponível em: < <http://www.wbcd.org> > . Acesso em: 10 set. 2012.

APÊNDICE A
QUESTIONÁRIOS AICV

Questionário 1 - Padrão – Empreendimento e equipe de trabalho.**INFORMAÇÕES SOBRE O EMPREENDIMENTO**

1. Nome da empresa:
2. Autoriza divulgação do nome:
3. Região explorada:
4. Início da atividade de extração:
5. Possui licenciamento ambiental:
6. Descrição da região:
 - a. Qual a área de cada mata existente nos limites do empreendimento:
 - b. Qual a área de ocupação do empreendimento:
 - c. Há levantamento de fauna e flora:
 - d. Há espécies em extinção:
 - e. Há problemas de erosão no local:
 - f. Houve desmatamento e/ou reflorestamento:
7. Precauções ambientais tomadas:
8. Compensações ambientais realizadas:

Comentários:Informações sobre os trabalhadores:

9. Número de homem/hora por tonelada de matéria prima extraída:
 - a. Número de trabalhadores:
 - b. Horas trabalhadas por semana:
10. Principais riscos e exposições (quantificar a exposição diária):
11. Especificar acidentes ocorridos:
12. Medir nível de ruídos:
13. Temperatura:
14. Utilização de equipamentos de proteção individual:
15. Os trabalhadores têm conhecimento dos riscos:
16. Há palestras e/ou treinamentos:

Comentários:

Questionário 2 - Processo produtivo de pedra britada para concreto.**DECAPEAMENTO E REMOÇÃO DO MATEIRAL**

1. Quais os equipamentos utilizados, qual o tipo de energia (elétrica, mecânica, térmica, etc) consumida por cada um deles e outras informações que forem adequadas

Equipamento	Energia		Outros
	tipo	consumo	

2. Quantidade de material removido:

3. Onde o material é depositado:

4. Qual a distância percorrida:

5. Há monitoramento/controlado de

- () Qualidade da água
 () Sólidos em suspensão
 () vazão do curso de água
 () Estabilidade
 () Aspectos de drenagem

Comentários**PERFURAÇÃO E DESMONTE**

1. Quais os equipamentos utilizados, qual o tipo de energia (elétrica, mecânica, térmica, etc) consumida por cada um deles e outras informações que forem adequadas

Equipamento	Energia		Outros
	tipo	consumo	

2. Explosivo utilizado:

3. Quantidade de explosivo/m³:
4. Tipo de rocha:
5. Quantidade retirada por desmonte:

Comentários

CARREGAMENTO E TRANSPORTE

1. Quais os equipamentos utilizados, qual o tipo de energia (elétrica, mecânica, térmica, etc) consumida por cada um deles e outras informações que forem adequadas

Equipamento	Energia		Outros
	tipo	consumo	

2. Quantidade de material transportado:
3. Distância percorrida:
4. Estimativa de perdas:

Comentários

BRITAGEM PRIMÁRIA

1. Quais os equipamentos utilizados, qual o tipo de energia (elétrica, mecânica, térmica, etc) consumida por cada um deles e outras informações que forem adequadas

Equipamento	Energia		Outros
	tipo	consumo	

2. Quantidade de material (entrada):
3. Quantidade de material (saída):

4. Como é feito o transporte para a próxima etapa do processo (tipo/energia/quantidade):

Comentários

REBRITAGEM E CLASSIFICAÇÃO

1. Quais os equipamentos utilizados, qual o tipo de energia (elétrica, mecânica, térmica, etc) consumida por cada um deles e outras informações que forem adequadas

Equipamento	Energia		Outros
	tipo	consumo	

2. Quantidade de material (entrada):
3. Quantidade de material (saída) – produtos e subprodutos:
4. Há geração de resíduos, qual a quantidade e qual a forma de disposição dos resíduos sólidos:

Líquidos (lubrificantes de equipamentos, água de lavagem de equipamentos, esgoto de sanitários, chuveiros e refeitórios)		Gasosos		Sólidos		
Resíduo	Quantidade	Resíduo	Quantidade	Resíduo	Quantidade	Disposição

5. Quais os poluentes, o volume de cada um e o nível de emissão:
6. Existem dispositivos ou procedimentos para controlar as emissões? (filtros, controle dos veículos e máquinas, manutenção periódica, etc)
7. Quantos litros de água são utilizados para a lavagem do agregado (L/m³):

Comentários

Questionário 3 – Extração da areia**EXTRAÇÃO**Forma de obtenção do produto:

- Rio;
 Cavas;
 Britagem;
 Escória;
 Dunas;
 Outro: _____

Informações detalhadas sobre a obtenção:

1. Quais os equipamentos utilizados, qual o tipo de energia (elétrica, mecânica, térmica, etc) consumida por cada um deles e o equipamento causa emissão de algum gás. Se sim, qual.

Equipamento	Energia		Emissões
	tipo	consumo	

2. Estimativa da quantidade de poeira levantada:
3. O que é feito com a água acumulada nas cavas:
4. Como é o sistema de drenagem:
5. Há monitoramento da qualidade da água da região utilizada:
6. Há monitoramento da vazão do rio:
7. Há monitoramento de sólidos em suspensão no rio:

Comentários:Atividade de extração:

8. Quais as quantidades, em toneladas, retiradas em cada época do ano:

Primavera	Verão	Outono	Inverno

9. Capacidade de produção (Quantos kg (ou ton.) de matéria prima /por hora (relativizar)
10. Quantos litros de água são utilizados para a lavagem do agregado:
11. Quais os subprodutos deste processo de extração:

12. Há geração de resíduos, qual a quantidade e qual a forma de disposição dos resíduos sólidos:

Líquidos (lubrificantes de equipamentos, água de lavagem de equipamentos, esgoto de sanitários, chuveiros e refeitórios)		Gasosos		Sólidos		
Resíduo	Quantidade	Resíduo	Quantidade	Resíduo	Quantidade	Disposição

13. Quais os poluentes, o volume de cada um e o nível de emissão:

14. Existem dispositivos ou procedimentos para controlar as emissões? (filtros, controle dos veículos e máquinas, manutenção periódica, etc)

Comentários:

Questionário 4 – transporte (distribuição)**TRANSPORTE**

1. Qual o meio de transporte utilizado (rodoviário, ferroviário, etc):
2. Qual a quantidade de veículos:
3. Qual a capacidade de carga de cada veículo:
4. Quantas vezes por semana o veículo é lavado:
5. Como é feita a troca de lubrificantes (local, frequência, ...):
6. Qual tipo de combustível consumido:
7. Qual o consumo médio mensal de combustível, em litros:
8. Qual a distância entre a jazida e o depósito:
9. Qual a distância média mensal percorrida do depósito até o consumidor:
10. Qual a quantidade média mensal de carga transportada, em toneladas:
11. Como é feito o carregamento do minério. Quais os equipamentos utilizados para o carregamento e qual o tipo e quantidade de energia consumida:
12. Quando do carregamento e descarregamento do minério, há emissões de poeiras (estimar o alcance com vistas a determinar a significância):
13. Distância entre o depósito e a UFSM:

APÊNDICE B
CÁLCULO DOS FLUXOS ELEMENTARES

Brita 1

O empreendimento visitado localiza-se em Itaara, Rio Grande do Sul, onde foi possível colocar os dados referentes ao processo de britagem e transporte da pedra basáltica.

Os equipamentos utilizados, com modelo e fabricante, listados no Quadro 1 foram fornecidos pela pedreira, já o consumo de cada um deles, foi obtido junto ao fabricante de cada equipamento. Os equipamentos movidos a energia elétrica não foi preciso consultar seu consumo, visto que o consumo médio de eletricidade foi obtido junta à empresa, sendo 84 mil kWh por mês.

Equipamentos/Modelo	Consumo
Escavadeira hidráulica - Case CX220	Diesel - 15 L/h
Pá carregadeira - Case 721E	Diesel - 24,4 L/h
Caminhão - Mercedes 2324	Diesel - 5,57 km/L
Compressor de ar estacionário -Atlas Copco GA 160	Energia elétrica
Perfuratriz - PWHP 5000	Energia elétrica
Britador – Nordberg 100/80	Energia elétrica
Britador – 11/44 Nordberg 2 hp200	Energia elétrica

Quadro 1 – Equipamentos, e seu consumo, utilizados para extração e britagem de pedras.

Para o desmonte, é utilizado um explosivo na forma de lama, a empresa não forneceu as especificações, portanto, adotou-se o explosivo do tipo “slurry”, composto por nitrato de amônia e óleo diesel. O consumo de explosivo por metro cúbico de rocha é de 350 g, segundo os representantes do empreendimento visitado, assim sendo, considerou-se esse valor para cada metro cúbico de pedra britada.

A produção para essa pedreira, se nenhuma paralisação do sistema fosse feita, seria de 1500 toneladas de pedra britada por dia. Porém, adotou-se um coeficiente de erro e o valor diário considerado para os cálculos foi de 1000 t.dia⁻¹. O Quadro 2 apresenta o percentual de cada granulometria de brita obtida mensalmente.

Tipo de brita	Quantidade (%)
≥ Brita 2	48
Brita 1	30
Pedrisco	2
Pó de pedra	20

Quadro 2 – Percentual de obtenção de cada granulometria de brita.

A partir desses dados, calcularam-se o total de diesel, energia elétrica e explosivo por tonelada de brita 1.

Para o consumo de diesel, adotou-se 22 dias úteis por mês, sendo 7,33 horas diárias efetivamente trabalhadas, totalizando 161,26 horas trabalhadas por mês. Desse modo, foi possível quantificar o volume de combustível para os equipamentos com consumo $L.h^{-1}$. Para o consumo com transporte, onde o consumo é de $km.L^{-1}$, calcularam-se as distâncias percorridas, sendo 0,5 km do local de extração até o sistema de britagem e 15,1 km do empreendimento até o laboratório de materiais de construção civil da Universidade Federal de Santa Maria.

Para a conversão de metro cúbico para toneladas, e vice-versa, utilizou-se o valor de $2,49 t.m^{-3}$.

Para a energia elétrica apenas dividiu-se o consumo mensal pela produção mensal de brita 1.

Resultando no consumo por tonelada de brita 1, apresentado no Quadro 3, esses dados foram incluídos no programa SimaPro.

Insumo	Quantidade	Unidade	Fluxo
Energia Elétrica	3,82	kWh	Entrada
Diesel	1,18	L	Entrada
Explosivo	350,00	G	Entrada

Quadro 3 – Insumos para obtenção de 1 tonelada de brita 1.

Dados referentes a consumo de água o empreendimento não soube informar, pois utilizam água de captação própria e recirculam o volume consumido.

Areia média

A empresa entrevistada realiza a extração de areia na região Passo do Rio Verde, em Santa Maria, Rio Grande do Sul, onde utilizam-se de dois tipos de extração, a partir de cavas e direta do rio.

O empresário realiza o controle de produção, portanto, ele soube informar o consumo de diesel por tonelada de areia extraída, sendo uma média de $0,566 L.t^{-1}$; e o consumo de água, onde utilizam-se de recirculação de água e captação própria, a estimativa de perda é de 10 %, sendo em torno de $80 L.t^{-1}$.

Além disso, o consumo de combustível com transporte foi calculado para um caminhão Mercedes 2324, com consumo médio de $5,57km.L^{-1}$, e distância de 38 km do local de extração até o laboratório de materiais de construção civil, da Universidade Federal de Santa Maria.

Resultando no consumo por tonelada de areia média, apresentado no Quadro 4, esses dados foram incluídos no programa SimaPro.

Insumo	Quantidade	Unidade	Fluxo
Diesel	0,89	L	Entrada
Água	80,00	L	Entrada

Quadro 4 – Insumos para obtenção de 1 tonelada de areia média

Cimento Portland

A coleta de dados referentes aos três tipos de cimento utilizados foi obtida em uma fábrica no Paraná, sendo que o CP II-Z 32 e CP V-ARI são dessa marca. Não foi possível coletar dados referentes a fábrica onde o CP IV 32 utilizado foi produzido, portanto, adotou-se os dados do empreendimento visitado. Todos os dados referem-se a média mensal para 12 meses, de junho 2009 a maio de 2010.

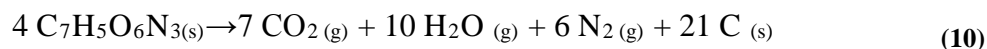
Além dos dados de fabricação, os dados da mineração foram fornecidos, o Quadro 5 apresenta as quantidades de cada material retirado na jazida, além dos insumos necessários para obtenção da massa total de material. A coluna de alocação refere-se a distribuição dos impactos ambientais potenciais referente ao uso de insumos e consumo da matéria prima. O consumo de óleo diesel inclui o combustível usado para fazer o transporte da jazida até a fábrica. A alocação é, segundo ISO NBR 14040 (ABNT, 2009), a repartição do fluxo de entrada e saída entre mais de um produto ou sistema.

Material	Quantidade (t)	Alocação (%)	Fluxo
Calcário para farinha	133.645,92	84,14	-
Quartzito	656,00	0,41	-
Filito	4.480,17	2,82	-
Calcário Filler / cimento	9.843,42	6,20	-
Calcário para obras e estradas	1.448,25	0,91	-
Brita Expedida	4.761,75	3,00	-
Soo Brita Expedido	672,25	0,42	-
Areia Industrial Ecxpedida	3.331,42	2,10	-
Ext. Rocha + Decapeamento	107.872,33		-
Total	266.711,50	100,00	-
Insumo	Quantidade	Unidade	Fluxo
Diesel	94.018,87	L	Entrada
Explosivo	29.762,00	Kg	Entrada

Quadro 5 – Dados de mineração da jazida de calcário.

Os impactos referentes a extração da rocha e o decapeamento foram divididos entres os demais produtos, pois esse é o primeiro processo para obtenção de todos os materiais listados.

O explosivo utilizado é o Trinitrotolueno (TNT), para quantificar o impacto de seu uso, sem considerar a carcaça do explosivo, considerou-se a reação química do trinitrotolueno (USBERCO et al., 2002) apresentada na equação (10)



A partir da reação do TNT, calculou-se a massa de cada uma das emissões. As massas atômicas dos elementos químicos estão apresentadas na Quadro 6 e as massas molares de TNT e de cada produto da reação estão apresentadas na Quadro 7.

Elemento Químico	Massa Atômica (u)
H - Hidrogênio	1
C - Carbono	12
N - Nitrogênio	14
O - Oxigênio	16

Quadro 6 – Massa Atômica dos elementos químicos envolvidos na reação do TNT.

Molécula	Massa Molar (g.mol ⁻¹)
C ₇ H ₅ O ₆ N ₃ - Trinitrotolueno	227
CO ₂ – Dióxido de Carbono	44
H ₂ O - Água	18
N ₂ – Gás Nitrogênio	28
C - Carbono	16

Quadro 7 – Massas molares do TNT e dos produtos de sua reação química.

O fluxo para 1 kg de Trinitrotolueno foi obtido considerando a quantidade de cada produto resultante da reação química dessa substância: calcularam-se que um kg de TNT equivalem a aproximadamente 4,41 mols; multiplicou-se a quantidade de mols pela massa molar de cada produto da reação, obtendo a quantidade em massa de cada componente, apresentado no Quadro 8 .

Emissão	Quantidade
CO ₂	339,207 g
H ₂ O	198,238 g
N ₂	185,022 g
C	277,533 g

Quadro 8 – Emissões relacionadas a 1 kg de explosivo TNT.

Os dados referentes ao processo produtivo foram agrupados em até a clinquerização e moagem e ensacamento. O consumo energético até a clinquerização foi obtido através da soma de todas as energias envolvidas, a divisão de consumo para cada tipo de cimento foi realizada da seguinte maneira, cada item corresponde a uma linha do Quadro 9:

1. Produção média (t): calculou-se a produção de cada tipo de cimento;
2. Teor de clínquer (%): estimou-se o teor de clínquer para o CP II-Z e adotou-se o mesmo valor para o CP II-F; para o CP IV; e para o CP V-ARI, adotou-se o mesmo valor para o CP V-RS;
3. Clínquer produzido (%): calculou-se do total de clínquer, o percentual correspondente a cada tipo de cimento;
4. Energia consumida (kWh): multiplicou-se o resultado do passo 3 pela energia total gasta pela fábrica até a clinquerização;
5. Consumo térmico-combustíveis (kcal/t): multiplicou-se o resultado do passo 3 pelo consumo térmico total no forno. Os valores apresentados já consideram o co-processamento, que corresponde a 20,70% do combustível utilizado.

Cimento	CP II-F 32	CP II-Z 32	CP IV 32	CP V-ARI	CP V-RS
Produção média (t)	51.756,18	29.655,41	7.811,17	15.490,18	7.053,33
Teor de clínquer (%)	77	77	78,14	92,5	92,5
Clínquer produzido(%)	42,9	24,58	6,57	15,42	7,02
Energia consumida (kWh)	5.041.792,35	2.888.860,99	772.184,98	1.812.717,55	825.407,06
Consumo térmico - combustível (MJ.t ⁻¹)	2.041,44	2.041,44	2.071,67	2.452,38	2.452,38

Quadro 9 – Resumo de dados da fabricação dos cimentos até a clinquerização

Optou-se por demonstrar apenas um compacto dos dados, pois a indústria não permite divulgação dos dados brutos.

Além disso, a consideração de emissão de dióxido de carbono (CO₂) da produção de clínquer foi de 0,494 t CO₂.t clínquer⁻¹, pois adotou-se que a clinquerização (descarbonatação do carbonato de cálcio e uso de combustíveis) é responsável por 95% da emissão de CO₂ da produção de cimento (MÜLLER ET AL., 2008). Portanto, esse valor refere-se a 95% da emissão média brasileira de CO₂, de 0,520 t CO₂.t cimento⁻¹ (MÜLLER ET AL., 2008).

O consumo energético da moagem do cimento e ensacamento é de 38,59 kWh.t⁻¹, portanto, o consumo total de energia foi obtido a partir da soma da energia elétrica consumida até a clínquerização e o consumo dos processos posteriores. O consumo total de energia por cimento, para os três tipos estudados, é listado no Quadro 10. O consumo térmico refere-se a soma de coque de petróleo e carvão mineral, a proporção não foi fornecida, portanto, adotou-se 61,89% de carvão e 38,11% de coque, de acordo com Lafarge (2014). Considerou-se a extração do carvão e do coque utilizando dados da biblioteca do SimaPro.

Cimento	Energia consumida (kWh.t⁻¹)	Consumo térmico –combustível (MJ.t⁻¹)
CP II-Z 32	136,00	2.041,44
CP IV 32	137,44	2.071,67
CP V-ARI	155,61	2.452,38

Quadro 10 – Consumo total de energia por cimento.

A composição dos cimentos foi estimada a partir dos resultados do ensaio de composição química, apresentados no Anexo A.

Para estimar a quantidade de material carbonático adotou-se o percentual total de anidrido carbônico, mas o seu correspondente de óxido de cálcio, que foi calculado pela massa atômica dos elementos envolvidos na equação de reação química do carbonato de cálcio (CaCO₃), expresso na equação (11).



O total de gesso foi adotado o total de anidrido sulfúrico (SO₃), para o CP V-ARI o restante foi adotado como clínquer. Para os cimentos com adição mineral, para calcular a quantidade de adição diminui-se o total de dióxido de silício (SiO₂) dos cimentos compostos pelo total de dióxido de silício do CP V-ARI. Porém, para o CP IV foi adotado 30% de adição mineral, média dos cimentos pozolânicos brasileiros (BATTAGIN, 2014), pois o valor encontrado foi muito baixo.

Para todos os compostos, se o valor encontrado estava fora dos limites impostos pelas normas técnicas NBR 11578/91, NBR 5736/91 e NBR 5733/91, referente ao do CP II-Z, CP IV e CP V, respectivamente, adotou-se o valor mais próximo dentro do limite da norma.

Para estimar a quantidade de calcário, quartzito, filito e minério de ferro adotou-se a média entre a composição estimada para cada tipo, pois adotou-se a hipótese de que a

composição do clínquer é a mesma para os três cimentos, devido aos dados de energia consumida. A quantidade de quartzito foi estimada sendo 33,38% do total de óxido de alumínio (Al_2O_3), para o filito calculou-se como sendo 40% do total de dióxido de silício, o minério de ferro como sendo 100% do total de óxido de ferro (Fe_2O_3) e o restante calcário. Para chegar nessas porcentagens, calculou-se o percentual médio de composição de cada um desses elementos da argila, calcário e areia. A composição foi extraída da apostila de cimento da equipe Timão (ITAMBÉ, 2010).

A composição do clínquer e dos cimentos são apresentadas no Quadro 11.

Composição (%)	CP II-Z 32 (NBR 11578/97)	CP IV 32 (NBR 5736/99)	CP V-ARI (NBR 5733/91)
Clínquer + gesso	78,44 + 2,23 =80,67 (76 a 96)	63,14 + 1,97 = 80,11 (45 a 85)	92,72 + 2,28 =95,00 (95 a 100)
Calcário	85,54 (85 a 95)		
Quartzito	2,52 (0 a 8)		
Filito	9,17 (0 a 10)		
Minério de ferro	2,76 (0 a 3)		
Material Carbonático	10,00 (0 a 10)	4,89 (0 a 5)	5,00 (0 a 5)
Adição	9,33 (6 a 14%)	30,00 (15 a 50)	-

Quadro 11 – Composição do clínquer e dos cimentos.

Além disso, considerou-se o transporte dos de cimentos até o laboratório da UFSM, 1000 km, para um caminhão com capacidade de 45 mil toneladas, resultando em 3,99 litros de diesel por tonelada de cimento.

Os dados incluídos no programa SimaPro estão apresentados nos quadros 5, 8, 10 e 11.

Não foi considerado impactos ambientais para as adições minerais e materiais alternativos utilizados no processo de clínquerização. Portanto, esses valores não entraram no SimaPro.

Aço

Não foi possível coletar dados de aço junto às fábricas, portanto, utilizou-se o Relatório de Sustentabilidade de 2013 (Instituto Aço Brasil, 2013). Os dados apresentados nesse relatório referem-se a dados nacionais, sem divisão por tipo de produto.

As quantidades de materiais foram divididas por 35,4% do total de aço produzido (34,5 .10⁶ toneladas), que destina-se ao aço utilizado na construção civil.

As informações sobre consumo de energia não estavam quantificadas, apenas mostrado que 47% do total de energia elétrica consumo vem da autogeração das próprias indústrias, o que representa o consumo anual de 12,3 milhões de brasileiros. Como não se encontrou dados referentes ao consumo médio anual per capita, adotou-se a média anual de consumo energético de uma pessoa que mora sozinha, resultando em um consumo $582 \text{ kWh}\cdot\text{ano}^{-1}\cdot\text{per capita}^{-1}$.

O Quadro 12 expressa os valores para uma tonelada de aço utilizado na construção civil. Todos esses dados foram inseridos no programa, com informações de extração da base de dados.

Insumo	Quantidade	Unidade	Fluxo
Carvão mineral/ Antracito	1,08	t	entrada
Coque	0,78	t	entrada
Coque de Petróleo	0,11	t	entrada
Carvão vegetal	0,13	t	entrada
Minério de ferro	2,76	t	entrada
Minério Manganês	0,04	t	entrada
Ferro-gusa	1,99	t	entrada
Sucata de ferro e aço	0,77	t	entrada
Dolomita crua	0,12	t	entrada
Calcário Cru	0,31	t	entrada
Cal calcítica/dolomítica	0,22	t	entrada
Ferroligas	0,04	t	entrada
Sinter	2,05	t	entrada
Energia elétrica	1247,12	kWh	entrada
CO ₂	3,72	t	saída
Água residual	5993,61	L	saída

Quadro 12 – Consumo de matérias primas e insumos para produção de uma tonelada de aço.

Para quantificar o óleo diesel consumido para o transporte foram adotados os mesmos parâmetros que para o transporte do cimento, resultando em $1,20 \text{ L}\cdot\text{t}^{-1}$.

APÊNDICE C
COMPOSIÇÕES UNITÁRIAS DE PREÇOS E MATERIAIS

Quadro 13 – Composição de fôrma para pilares com madeira compensada 12mm (coeficientes físicos: código 03110.8.2 da TCPO 13 – página 127)

COMPOSIÇÃO DO CUSTO UNITÁRIO					UNIDADE	m ²
					DATA	09/2013
FÔRMA PARA PILARES COM MADEIRA COMPENSADA 12 MM					TOTAL	41,35
Discriminação	Coeficiente	Unidade	Preço unitário		Custo do Material	Custo da M.O
			Mat	M.O.		
Ajudante de carpinteiro	0,204	h	-	8,25	0,00	1,68
Carpinteiro	0,82	h	-	10,52	0,00	8,58
Chapa compensada 12mm	0,25	m ²	20,65	-	5,16	0,00
Prego 17x21 com cabeça (comprimento 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	0,04	kg	7,30	-	0,29	0,00
Pontalete 3"x3" (altura: 75mm / largura: 75mm)	1,20	m	3,36	-	4,03	0,00
Sarrafo 1"x3" (altura: 75mm/ espessura 25 mm)	1,65	m	1,38	-	2,28	0,00
Tábua 1"x8" (espessura 25mm/ largura: 200mm)	0,104	m ²	12,03	-	1,25	0,00
Tábua 1"x6" (espessura 25mm/ largura: 150mm)	0,1	m ²	12,47	-	1,25	0,00
Desmoldante de fôrmas para concreto	0,02	l	8,34	-	0,17	0,00
Prego 17x27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm/ diâmetro da cabeça: 3mm)	0,1	kg	6,96	-	0,70	0,00
Prego 15x15 com cabeça (comprimento 34,5 mm/diâmetro da cabeça: 2,4 mm)	0,05	kg	7,50	-	0,38	0,00
TOTAIS SEM ENCARGOS					15,50	10,27
Leis sociais	144,22	%			-	14,81
Ferramentas	5	%			0,77	-
TOTAIS COM ENCARGOS					16,27	25,07

Quadro 14 – Composição de armadura para pilar $\Phi 10$ – sem estribo (coeficientes físicos: código 03210.8.1.11 da TCPO 13 – página 150)

COMPOSIÇÃO DO CUSTO UNITÁRIO					UNIDADE	kg
					DATA	09/2013
ARMADURA PARA PILAR $\Phi 10$ - sem estribo					TOTAL	9,21
Discriminação	Coeficiente	Unidade	Preço unitário		Custo do Material	Custo da M.O
			Mat	M.O.		
Ajudante de armador	0,093	h		8,25	0,00	0,77
Armador	0,093	h		10,52	0,00	0,98
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	3,56		3,92	0,00
TOTAIS SEM ENCARGOS					4,71	1,75
Leis sociais	144,22	%				2,52
Ferramentas	5	%			0,24	
TOTAIS COM ENCARGOS					4,95	4,26

Quadro 15 – Composição de materias e custos do pilar de CP II-Z $f_{ck}=30$ (coeficientes físicos de betoneira e servente: código 03310.8.1 da TCPO 13 – página 152)

COMPOSIÇÃO DO CUSTO UNITÁRIO					UNIDADE	1 Pilar
					DATA	09/2013
PILAR FCK 30 MPa - CP II-Z 32					TOTAL	495,70
Discriminação	Coeficiente	Unidade	Preço unitário		Custo do Material	Custo da M.O
			Mat	M.O.		
Cimento CP II-Z 32	109,34	kg	0,44		47,56	0,00
Areia média	224,15	kg	0,02		4,58	0,00
Brita 1	331,31	kg	0,01		4,11	0,00
Água para concreto	54,67	kg	0,00		0,23	0,00
Estribos 5 mm	4,43	kg	4,18		18,52	0,00
Armadura para pilar $\Phi 10$	16,97	kg	4,71	1,75	79,97	29,62
Fôrma para pilares com madeira compensada resina e=12 mm	3,575	m ²	15,50	10,27	55,41	36,71
Betoneira	0,306	h prod	3,60		1,10	0,00
Servente	6	h		7,62	0,00	45,72
TOTAIS SEM ENCARGOS					211,49	112,04
Leis sociais	144,22	%				161,59
Ferramentas	5	%			10,57	
TOTAIS COM ENCARGOS					222,06	273,63

Quadro 16 – Composição de materias e custos do pilar de CP II-Z $f_{ck}=50$ (coeficientes físicos de betoneira e servente: código 03310.8.1 da TCPO 13 – página 152)

COMPOSIÇÃO DO CUSTO UNITÁRIO					UNIDADE	1 Pilar
					DATA	09/2013
PILAR FCK 50 MPa - CP II-Z 32					TOTAL	467,52
Discriminação	Coeficiente	Unidade	Preço unitário		Custo do Material	Custo da M.O
			Mat	M.O.		
Cimento CP II-Z 32	104,15	kg	0,44		45,30	0,00
Areia média	134,35	kg	0,02		2,75	0,00
Brita 1	236,41	kg	0,01		2,93	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	4,18		15,55	0,00
Armadura para pilar $\Phi 10$	16,97	kg	4,71	1,75	79,97	29,62
Fôrma para pilares com madeira compensada resina e=12 mm	3,025	m ²	15,50	10,27	46,89	31,06
Betoneira	0,306	h prod	3,60		1,10	0,00
Servente	6	h		7,62	0,00	45,72
TOTAIS SEM ENCARGOS					197,78	106,40
Leis sociais	144,22	%				153,45
Ferramentas	5	%			9,89	
TOTAIS COM ENCARGOS					207,67	259,84

152) Quadro 17 – Composição de materias e custos do pilar de CP IV $f_{ck}=30$ (coeficientes físicos de betoneira e servente: código 03310.8.1 da TCPO 13 – página

COMPOSIÇÃO DO CUSTO UNITÁRIO					UNIDADE	1 Pilar
					DATA	09/2013
PILAR FCK 30 MPa - CP IV 32					TOTAL	496,07
Discriminação	Coeficiente	Unidade	Preço unitário		Custo do Material	Custo da M.O
			Mat	M.O.		
Cimento CP IV 32	122,27	kg	0,39		47,69	0,00
Areia média	207,87	kg	0,02		4,25	0,00
Brita 1	327,69	kg	0,01		4,07	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	4,18		18,52	0,00
Armadura para pilar $\Phi 10$	16,97	kg	4,71	1,75	79,97	29,62
Fôrma para pilares com madeira compensada resina e=12 mm	3,575	m ²	15,50	10,27	55,41	36,71
Betoneira	0,306	h prod	3,60		1,10	0,00
Servente	6	h		7,62	0,00	45,72
TOTAIS SEM ENCARGOS					211,84	112,04
Leis sociais	144,22	%				161,59
Ferramentas	5	%			10,59	
TOTAIS COM ENCARGOS					222,44	273,63

Quadro 18 – Composição de materias e custos do pilar de CP IV $f_{ck}=50$ (coeficientes físicos de betoneira e servente: código 03310.8.1 da TCPO 13 – página 152)

COMPOSIÇÃO DO CUSTO UNITÁRIO					UNIDADE	1 Pilar
					DATA	09/2013
PILAR FCK 50 MPa - CP IV 32					TOTAL	469,38
Discriminação	Coeficiente	Unidade	Preço unitário		Custo do Material	Custo da M.O
			Mat	M.O.		
Cimento CP IV 32	117,65	kg	0,39		45,88	0,00
Areia média	117,65	kg	0,02		2,40	0,00
Brita 1	232,95	kg	0,01		2,89	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	4,18		15,55	0,00
Armadura para pilar $\Phi 10$	16,97	kg	4,71	1,75	79,97	29,62
Fôrma para pilares com madeira compensada resina e=12 mm	3,025	m ²	15,50	10,27	46,89	31,06
Betoneira	0,306	h prod	3,60		1,10	0,00
Servente	6	h		7,62	0,00	45,72
TOTAIS SEM ENCARGOS					199,56	106,40
Leis sociais	144,22	%				153,45
Ferramentas	5	%			9,98	
TOTAIS COM ENCARGOS					209,54	259,84

Quadro 19 – Composição de materias e custos do pilar de CP V-ARI $f_{ck}=30$ (coeficientes físicos de betoneira e servente: código 03310.8.1 da TCPO 13 – página 152)

COMPOSIÇÃO DO CUSTO UNITÁRIO					UNIDADE	1 Pilar
					DATA	09/2013
PILAR FCK 30 MPa - CP V-ARI					TOTAL	513,70
Discriminação	Coeficiente	Unidade	Preço unitário		Custo do Material	Custo da M.O
			Mat	M.O.		
Cimento CPV-ARI	85,59	kg	0,75		64,19	0,00
Areia média	249,05	kg	0,02		5,09	0,00
Brita 1	332,07	kg	0,01		4,12	0,00
Água para concreto	54,77	kg	0,00		0,23	0,00
Estribos 5 mm	4,43	kg	4,18		18,52	0,00
Armadura para pilar $\Phi 10$	16,97	kg	4,71	1,75	79,97	29,62
Fôrma para pilares com madeira compensada resina e=12 mm	3,575	m ²	15,50	10,27	55,41	36,71
Betoneira	0,306	h prod	3,60		1,10	0,00
Servente	6	h		7,62	0,00	45,72
TOTAIS SEM ENCARGOS					228,63	112,04
Leis sociais	144,22	%				161,59
Ferramentas	5	%			11,43	
TOTAIS COM ENCARGOS					240,07	273,63

Quadro 20 – Composição de materias e custos do pilar de CP V-ARI $f_{ck}=50$ (coeficientes físicos de betoneira e servente: código 03310.8.1 da TCPO 13 – página 152)

COMPOSIÇÃO DO CUSTO UNITÁRIO					UNIDADE	1 Pilar
					DATA	
PILAR FCK 50 MPa - CPV-ARI					TOTAL	482,12
Discriminação	Coeficiente	Unidade	Preço unitário		Custo do Material	Custo da M.O
			Mat	M.O.		
Cimento CP V-ARI	82,49	kg	0,75		61,87	0,00
Areia média	156,73	kg	0,02		3,20	0,00
Brita 1	237,56	kg	0,01		2,95	0,00
Água para concreto	39,18	kg	0,00		0,16	0,00
Estribos 5 mm	3,72	kg	4,18		15,55	0,00
Armadura para pilar $\Phi 10$	16,97	kg	4,71	1,75	79,97	29,62
Fôrma para pilares com madeira compensada resina e=12 mm	3,025	m ²	15,50	10,27	46,89	31,06
Betoneira	0,306	h prod	3,60		1,10	0,00
Servente	6	h		7,62	0,00	45,72
TOTAIS SEM ENCARGOS					211,69	106,40
Leis sociais	144,22	%				153,45
Ferramentas	5	%			10,58	
TOTAIS COM ENCARGOS					222,28	259,84

APÊNDICE D
INVENTÁRIO DE EMISSÕES DOS PILARES
ESTUDADOS

Quadro 21 – Inventário de emissões das seis alternativas de pilares.

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
1	Ligas metálicas	Matéria prima	kg	0,856	0,8276	0,856	0,8276	0,856	0,8276
2	Alumínio, 24% in bauxita, 11% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,027428635	0,024978042	0,027424261	0,02514266	0,027429531	0,024652371
3	Anidrita, no solo	Matéria prima	kg	4,53211E-07	8,97414E-07	4,53195E-07	1,14047E-06	4,53214E-07	4,26467E-07
4	Barita, 15% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,031332242	0,028218365	0,031328733	0,028345274	0,031332977	0,027967093
5	Basalgadao, no solo	Matéria prima	kg	0,008698731	0,007776053	0,008697676	0,007809152	0,008698952	0,007710305
6	Bórax, no solo	Matéria prima	kg	4,33402E-07	3,89259E-07	4,3336E-07	3,90633E-07	4,33411E-07	3,86534E-07
7	Bromina, 0.0023% em água	Matéria prima	kg	4,41224E-07	3,89386E-07	4,41223E-07	3,89444E-07	4,41225E-07	3,8927E-07
8	Cádmio, 0.30% em sulfeto, Cd 0.18%, Pb, Zn, Ag, in, no solo	Matéria prima	kg	6,48438E-06	5,69233E-06	6,48412E-06	5,7013E-06	6,48444E-06	5,67455E-06
9	Calcita, no solo	Matéria prima	kg	33,91071386	32,68495477	33,9106056	32,68823231	33,91073464	32,67843739
10	Dióxido de carbono, no ar	Matéria prima	kg	87,12937101	73,80686217	87,12930818	73,80929048	87,12938321	73,80206041
11	Carbono, em matéria orgânica, no solo	Matéria prima	kg	1,23449E-05	1,11357E-05	1,23438E-05	1,11575E-05	1,23451E-05	1,10918E-05
12	Cromo, 25.5% em cromita, 11.6% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,012790743	0,011297409	0,01278786	0,011393302	0,012791346	0,011107194
13	Chrysotile, no solo	Matéria prima	kg	2,76301E-06	3,52308E-06	2,76295E-06	3,97863E-06	2,76302E-06	2,64037E-06
14	Cinnabar, no solo	Matéria prima	kg	2,56499E-07	3,26205E-07	2,56494E-07	3,6814E-07	2,565E-07	2,44946E-07
15	Argila, bentonítica, no solo	Matéria prima	kg	0,691689591	0,668112007	0,691688784	0,668137133	0,691689755	0,668062083
16	Argila, não especificado, no solo	Matéria prima	kg	0,983572822	0,881772281	0,983414867	0,886321994	0,983605218	0,872714472
17	Carvão, 26.4 MJ por kg, no solo	Matéria prima	kg	6,231218845	6,024482127	6,231218845	6,024482127	6,231218845	6,024482145
18	Carvão, 29.3 MJ por kg, no solo	Matéria prima	kg	37,09250792	35,86186863	37,09250792	35,86186863	37,09250792	35,86186863
19	Carvão, bituminoso, 24.8 MJ por kg, no solo	Matéria prima	kg	5,570873	5,3064425	6,321359	6,082505	5,238108	5,048388

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
20	Carvão, marrom, no solo	Matéria prima	kg	5,877423826	5,270232029	5,877273638	5,28728754	5,877454395	5,236956049
21	Carvão, duro, não especificado, no solo	Matéria prima	kg	51,16848878	49,15907356	51,49523007	49,5097953	51,02394797	49,02210491
22	Cobalto, no solo	Matéria prima	kg	4,33633E-08	3,89921E-08	4,33618E-08	3,90429E-08	4,33636E-08	3,88914E-08
23	Colinanite, no solo	Matéria prima	kg	0,000108099	9,52032E-05	0,000108075	9,5921E-05	0,000108104	9,37754E-05
24	Cobre, 0.99% em sulfeto, Cu 0.36% e Mo 8.2E-3% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,001167757	0,00103634	0,001167493	0,001044811	0,001167812	0,001019523
25	Cobre, 1.18% em sulfeto, Cu 0.39% e Mo 8.2E-3% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,006429132	0,005705961	0,006427682	0,005752383	0,006429435	0,005613795
26	Cobre, 1.42% em sulfeto, Cu 0.81% e Mo 8.2E-3% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,001705445	0,00151361	0,001705061	0,001525924	0,001705526	0,001489162
27	Cobre, 2.19% em sulfeto, Cu 1.83% e Mo 8.2E-3% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,008521032	0,007561227	0,008519103	0,007622981	0,008521435	0,007438619
28	Diatomite, no solo	Matéria prima	kg	2,15462E-09	1,88608E-09	2,15454E-09	1,88943E-09	2,15464E-09	1,87944E-09
29	Dolomita, no solo	Matéria prima	kg	0,004992241	0,004671082	0,004992009	0,00467821	0,004992289	0,004656913
30	Energia, poder calorífico superior, em biomassa	Matéria prima	MJ	954,2673751	808,3014349	954,2667103	808,3303409	954,2675044	808,244404
31	Energia, poder calorífico superior, em biomassa, floresta primária	Matéria prima	MJ	0,000855852	0,000772023	0,000855776	0,000773535	0,000855868	0,000768976
32	Energia, cinética (no vento), convertida	Matéria prima	MJ	2,412921105	2,163700267	2,412860454	2,170654088	2,412933444	2,15013398
33	Energia, potencial (em energia hidrelétrica reservatório), convertida	Matéria prima	MJ	20,38172598	18,22795206	20,38069784	18,28233296	20,3819226	18,12100144
34	Energia, solar, convertida	Matéria prima	MJ	0,037179025	0,033274637	0,037177884	0,03337462	0,037179246	0,033079159
35	Feldispato, no solo	Matéria prima	kg	1,07581E-08	9,13597E-09	1,07251E-08	9,15877E-09	1,07634E-08	9,0403E-09
36	Flúor, 4.5% em apatita, 1% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,000251016	0,000238618	0,000251005	0,000239038	0,000251019	0,000237787

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
37	Flúor, 4.5% em apatita, 3% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,00013211	0,000123353	0,000132105	0,000123539	0,000132112	0,000122985
38	Espatoflúor, 92%, no solo	Matéria prima	kg	0,001686549	0,001493967	0,001686205	0,001506721	0,001686621	0,001468729
39	Gálio, 0.014% in bauxita, no solo	Matéria prima	kg	1,05075E-10	9,40574E-11	1,05072E-10	9,43408E-11	1,05075E-10	9,35034E-11
40	Gás, mina, fora, processo, mineração de carvão/m3	Matéria prima	m3	0,47130952	0,452922621	0,471308173	0,453028586	0,471309793	0,452715242
41	Gás, natural, no solo	Matéria prima	m3	8,252569723	7,17629012	8,251486642	7,206995957	8,25279675	7,11513572
42	Ouro, Au 1.1E-4%, Ag 4.2E-3%, em minério, no solo	Matéria prima	kg	4,82176E-08	4,18302E-08	4,82013E-08	4,23433E-08	4,8221E-08	4,08111E-08
43	Ouro, Au 1.3E-4%, Ag 4.6E-5%, em minério, no solo	Matéria prima	kg	8,84197E-08	7,67068E-08	8,83897E-08	7,76477E-08	8,84259E-08	7,48379E-08
44	Ouro, Au 1.4E-4%, em minério, no solo	Matéria prima	kg	1,0587E-07	9,18455E-08	1,05834E-07	9,29721E-08	1,05878E-07	8,96078E-08
45	Ouro, Au 2.1E-4%, Ag 2.1E-4%, em minério, no solo	Matéria prima	kg	1,61704E-07	1,40283E-07	1,61649E-07	1,42004E-07	1,61715E-07	1,36865E-07
46	Ouro, Au 4.3E-4%, em minério, no solo	Matéria prima	kg	4,00771E-08	3,47681E-08	4,00636E-08	3,51946E-08	4,008E-08	3,3921E-08
47	Ouro, Au 4.9E-5%, em minério, no solo	Matéria prima	kg	9,59896E-08	8,32739E-08	9,59571E-08	8,42954E-08	9,59964E-08	8,1245E-08
48	Ouro, Au 6.7E-4%, em minério, no solo	Matéria prima	kg	1,48608E-07	1,28922E-07	1,48557E-07	1,30503E-07	1,48618E-07	1,25781E-07
49	Ouro, Au 7.1E-4%, em minério, no solo	Matéria prima	kg	1,6757E-07	1,45372E-07	1,67513E-07	1,47155E-07	1,67582E-07	1,4183E-07
50	Ouro, Au 9.7E-4%, Ag 9.7E-4%, Zn 0.63%, Cu 0.38%, Pb 0.014%, em minério, no solo	Matéria prima	kg	1,00413E-08	8,71114E-09	1,00379E-08	8,81799E-09	1,0042E-08	8,4989E-09
51	Granito, no solo	Matéria prima	kg	9,49951E-11	8,7814E-11	9,49853E-11	8,81188E-11	9,49972E-11	8,72084E-11
52	Pedra, no solo	Matéria prima	kg	39,17068587	33,83411752	39,16988737	33,85243465	39,17084137	33,79739657
53	Gesso, no solo	Matéria prima	kg	2,43829269	2,322555202	2,40872969	2,317715211	0,195155891	0,188087384
54	Índio, 0.005% em sulfeto, in 0.003%, Pb, Zn, Ag, Cd, no solo	Matéria prima	kg	1,13257E-07	9,95132E-08	1,13252E-07	9,96765E-08	1,13257E-07	9,91898E-08
55	Iodo, 0.03% em água	Matéria prima	kg	1,01063E-07	8,90334E-08	1,01063E-07	8,90471E-08	1,01063E-07	8,90061E-08

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
56	Minério de ferro, no solo	Matéria prima	kg	2,36714977	2,254789176	2,130755273	2,050244196	2,190309725	2,110978493
57	Ferro, 46% em minério, 25% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	90,48479759	87,44750397	90,48475074	87,44873602	90,4848071	87,44504481
58	Kaolinite, 24% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,000720529	0,000689991	0,000720521	0,000690282	0,000720531	0,000689417
59	Kieserite, 25% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	2,20648E-06	2,07383E-06	2,20644E-06	2,07524E-06	2,20649E-06	2,07103E-06
60	Chumbo, 5.0% em sulfeto, Pb 3.0%, Zn, Ag, Cd, in, no solo	Matéria prima	kg	0,000464906	0,000406404	0,000464888	0,000407197	0,00046491	0,000404839
61	Lítio, 0.15% in brine, no solo	Matéria prima	kg	1,26121E-09	1,14078E-09	1,2612E-09	1,141E-09	1,26121E-09	1,14034E-09
62	Magnesita, 60% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,008979026	0,008171846	0,008978252	0,008190034	0,008979179	0,008135414
63	Magnésio, 0.13% em água	Matéria prima	kg	1,23978E-05	1,05123E-05	1,23978E-05	1,05145E-05	1,23978E-05	1,0508E-05
64	Minério de manganês, no solo	Matéria prima	kg	0,856	0,8276	0,856	0,8276	0,856	0,8276
65	Manganês, 35.7% em depósito sedimentar, 14.2% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,003289095	0,002957705	0,003288793	0,002967354	0,003289158	0,002938546
66	Rocha metamórficas, contendo grafite, no solo	Matéria prima	kg	3,92516E-05	3,56954E-05	3,9246E-05	3,58773E-05	3,92528E-05	3,53342E-05
67	Molibdênio, 0.010% em sulfeto, Mo 8.2E-3% and Cu 1.83% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,000158354	0,000140517	0,000158318	0,000141665	0,000158361	0,000138238
68	Molibdênio, 0.014% em sulfeto, Mo 8.2E-3% and Cu 0.81% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	2,24008E-05	1,98811E-05	2,23957E-05	2,00428E-05	2,24019E-05	1,95599E-05
69	Molibdênio, 0.022% em sulfeto, Mo 8.2E-3% and Cu 0.36% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	4,51496E-05	4,01191E-05	4,51463E-05	4,02272E-05	4,51503E-05	3,99045E-05
70	Molibdênio, 0.025% em sulfeto, Mo 8.2E-3% and Cu 0.39% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	8,20819E-05	7,28491E-05	8,20634E-05	7,34418E-05	8,20857E-05	7,16724E-05

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
71	Molibdênio, 0.11% em sulfeto, Mo 4.1E-2% and Cu 0.36% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	9,07989E-05	8,06889E-05	9,07923E-05	8,09037E-05	9,08003E-05	8,02626E-05
72	Níquel, 1.13% em sulfeto, Ni 0.76% and Cu 0.76% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,002183339	0,001841414	0,002182715	0,001840912	0,00218347	0,001841428
73	Níquel, 1.98% em silicatos, 1.04% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,03353092	0,029719038	0,033524052	0,029935484	0,033532357	0,029289133
74	Ocupação, arável, de sequeiro	Matéria prima	m2a	0,080300642	0,068241688	0,08030055	0,068244763	0,080300661	0,06823559
75	Ocupação, canteiro de obras	Matéria prima	m2a	0,004158148	0,003732808	0,004157589	0,003747479	0,004158264	0,003703524
76	Ocupação, local de despejo	Matéria prima	m2a	0,27206492	0,260725787	0,272062535	0,260834727	0,272065407	0,260511051
77	Ocupação, local de despejo, bentos	Matéria prima	m2a	0,003321835	0,002937145	0,003321402	0,002944053	0,003321926	0,002923096
78	Ocupação, floresta, intensivo	Matéria prima	m2a	0,015225012	0,014105664	0,01522389	0,01414864	0,015225246	0,014020675
79	Ocupação, floresta, intensivo, normal	Matéria prima	m2a	397,4658492	336,5903535	397,4657454	336,5936714	397,4658704	336,5837656
80	Ocupação, floresta, intensivo, de ciclo curto	Matéria prima	m2a	0,000214691	0,000193662	0,000214671	0,000194041	0,000214695	0,000192897
81	Ocupação, área industrial	Matéria prima	m2a	0,217280219	0,200655379	0,217269885	0,200734086	0,21728197	0,200486805
82	Ocupação, área industrial, bentos	Matéria prima	m2a	2,9767E-05	2,62552E-05	2,97631E-05	2,63112E-05	2,97678E-05	2,61407E-05
83	Ocupação, área industrial, construído	Matéria prima	m2a	0,083609663	0,077457456	0,083602579	0,077679936	0,083611146	0,077015532
84	Ocupação, área industrial, vegetação	Matéria prima	m2a	0,031939486	0,028910461	0,031937265	0,028980193	0,031939949	0,028771945
85	Ocupação, local de mineração	Matéria prima	m2a	0,128351801	0,121729545	0,128350527	0,121793537	0,128352061	0,121603602
86	Ocupação, cultura permanente, fruta, intensivo	Matéria prima	m2a	0,000275119	0,00024656	0,000275093	0,000247038	0,000275124	0,000245594
87	Ocupação, área de arbusto, sclerophyllous	Matéria prima	m2a	0,001765289	0,001570858	0,001765151	0,001574905	0,001765317	0,001562806
88	Ocupação, área de tráfego, aterro ferroviário	Matéria prima	m2a	0,041992696	0,038972833	0,041991411	0,039021502	0,041992965	0,038876567

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
89	Ocupação, área de tráfego, rede ferroviária	Matéria prima	m2a	0,046433996	0,043094743	0,046432575	0,043148558	0,046434293	0,042988295
90	Ocupação, área de tráfego, aterro rodoviário	Matéria prima	m2a	3,8851628	3,290217992	3,885161626	3,290255801	3,885163039	3,290142932
91	Ocupação, área de tráfego, rede rodoviária	Matéria prima	m2a	0,04996677	0,045518497	0,04996507	0,045566385	0,049967114	0,045423099
92	Ocupação, urbano, descontínuo	Matéria prima	m2a	7,5467E-05	6,42971E-05	7,54668E-05	6,43022E-05	7,5467E-05	6,42868E-05
93	Ocupação, cursos d'água, artificial	Matéria prima	m2a	0,054757602	0,050428038	0,054756487	0,050515746	0,054757822	0,050256384
94	Ocupação, cursos d'água, artificial	Matéria prima	m2a	0,040728936	0,038065067	0,040727947	0,038111087	0,04072913	0,03797438
95	Olho, bruto, no solo	Matéria prima	kg	5,608621894	5,226193214	5,608139093	5,281303174	5,608722933	5,118676793
96	Olivina, no solo	Matéria prima	kg	1,66635E-07	3,18821E-07	1,66627E-07	4,02827E-07	1,66636E-07	1,56048E-07
97	Pd, Pd 2.0E-4%, Pt 4.8E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% em minério, no solo	Matéria prima	kg	1,70569E-08	1,51159E-08	1,7053E-08	1,53036E-08	1,70577E-08	1,47465E-08
98	Pd, Pd 7.3E-4%, Pt 2.5E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% em minério, no solo	Matéria prima	kg	4,0991E-08	3,63266E-08	4,09818E-08	3,67775E-08	4,09929E-08	3,54387E-08
99	Turfa, no solo	Matéria prima	kg	0,000231914	0,00023254	0,000231876	0,000247457	0,000231922	0,000203581
100	Fósforo, 18% em apatita, 12% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,000531649	0,000495708	0,000531591	0,000496428	0,000531659	0,000494224
101	Fósforo, 18% em apatita, 4% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,001004092	0,000954499	0,001004045	0,000956179	0,001004102	0,000951171
102	Pt, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% em minério, no solo	Matéria prima	kg	4,53661E-10	4,08419E-10	4,53637E-10	4,1118E-10	4,53666E-10	4,03032E-10
103	Pt, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% em minério, no solo	Matéria prima	kg	1,62634E-09	1,46415E-09	1,62626E-09	1,47405E-09	1,62636E-09	1,44484E-09
104	Rh, Rh 2.0E-5%, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% em minério, no solo	Matéria prima	kg	2,09176E-10	1,89865E-10	2,09162E-10	1,91915E-10	2,09179E-10	1,85873E-10

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
105	Rh, Rh 2.4E-5%, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% em minério, no solo	Matéria prima	kg	6,55162E-10	5,94679E-10	6,55118E-10	6,01098E-10	6,55171E-10	5,82175E-10
106	Rhenium, em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	4,15451E-10	3,66969E-10	4,15436E-10	3,69788E-10	4,15454E-10	3,61485E-10
107	Areia, não especificado, no solo	Matéria prima	kg	5,97367E-05	5,94034E-05	5,97329E-05	6,25557E-05	5,97375E-05	5,32902E-05
108	Xisto, no solo	Matéria prima	kg	1,28302E-06	2,54054E-06	1,28297E-06	3,22862E-06	1,28303E-06	1,20731E-06
109	Prata, 0.007% em sulfeto, Ag 0.004%, Pb, Zn, Cd, in, no solo	Matéria prima	kg	1,07509E-06	9,32992E-07	1,07473E-06	9,44341E-07	1,07517E-06	9,1045E-07
110	Prata, 3.2ppm em sulfeto, Ag 1.2ppm, Cu and Te, em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	7,67054E-07	6,65673E-07	7,66797E-07	6,73769E-07	7,67108E-07	6,49593E-07
111	Prata, Ag 2.1E-4%, Au 2.1E-4%, em minério, no solo	Matéria prima	kg	7,08059E-08	6,14473E-08	7,07821E-08	6,21947E-08	7,08108E-08	5,99627E-08
112	Prata, Ag 4.2E-3%, Au 1.1E-4%, em minério, no solo	Matéria prima	kg	1,61718E-07	1,40343E-07	1,61663E-07	1,4205E-07	1,61729E-07	1,36952E-07
113	Prata, Ag 4.6E-5%, Au 1.3E-4%, em minério, no solo	Matéria prima	kg	1,5851E-07	1,37559E-07	1,58457E-07	1,39232E-07	1,58521E-07	1,34236E-07
114	Prata, Ag 9.7E-4%, Au 9.7E-4%, Zn 0.63%, Cu 0.38%, Pb 0.014%, em minério, no solo	Matéria prima	kg	1,04593E-07	9,07685E-08	1,04558E-07	9,18726E-08	1,046E-07	8,85756E-08
115	Cloreto de sódio, no solo	Matéria prima	kg	0,183541939	0,205350125	0,183538082	0,22113797	0,183542732	0,17475525
116	Nitrato de sódio, no solo	Matéria prima	kg	3,75909E-11	3,35943E-11	3,75845E-11	3,38077E-11	3,75922E-11	3,31709E-11
117	Sulfato de sódio, various forms, no solo	Matéria prima	kg	0,000380146	0,000335734	0,000380052	0,000339095	0,000380166	0,000329079
118	Stibnite, no solo	Matéria prima	kg	2,23911E-10	1,96004E-10	2,23903E-10	1,96353E-10	2,23913E-10	1,95314E-10
119	Enxofre, no solo	Matéria prima	kg	2,74414E-05	2,86606E-05	2,74377E-05	3,06082E-05	2,74422E-05	2,48813E-05
120	Sylvite, 25 % em silvinita, no solo	Matéria prima	kg	0,000429223	0,000367837	0,000429198	0,000368587	0,000429228	0,000366346
121	Talco, no solo	Matéria prima	kg	7,57005E-05	7,24955E-05	7,56937E-05	7,25323E-05	7,57016E-05	7,24137E-05
122	Tântalo, 81.9% em tantalita, 1.6E-4% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	8,46965E-07	7,3497E-07	8,46681E-07	7,43925E-07	8,47025E-07	7,17184E-07

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
123	Telúrio, 0.5ppm em sulfeto, Te 0.2ppm, Cu and Ag, em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	1,15058E-07	9,98511E-08	1,1502E-07	1,01065E-07	1,15066E-07	9,7439E-08
124	Estanho, 79% em cassiterite, 0.1% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	5,45766E-05	4,8704E-05	5,45641E-05	4,90962E-05	5,45792E-05	4,79249E-05
125	TiO2, 54% em ilmenite, 2.6% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	0,001737976	0,001569376	0,001737775	0,001577208	0,001738018	0,001553891
126	TiO2, 95% em rutilo, 0.40% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	8,23236E-09	7,18913E-09	8,23064E-09	7,24316E-09	8,23272E-09	7,08181E-09
127	Transformação, arável	Matéria prima	m2	2,26733E-05	2,04182E-05	2,26712E-05	2,0514E-05	2,26737E-05	2,02294E-05
128	Transformação, arável, de sequeiro	Matéria prima	m2	0,148398476	0,126111494	0,148398308	0,126117162	0,148398511	0,126100253
129	Transformação, arável, de sequeiro, pousio	Matéria prima	m2	3,32765E-06	3,03032E-06	3,32712E-06	3,05028E-06	3,32776E-06	2,99081E-06
130	Transformação, de local de despejo, aterro de material inerte	Matéria prima	m2	0,000275698	0,00024373	0,000275683	0,000244223	0,000275702	0,000242751
131	Transformação, de local de despejo, aterro de material residual	Matéria prima	m2	7,0629E-05	6,46241E-05	7,06219E-05	6,49304E-05	7,06305E-05	6,40198E-05
132	Transformação, de local de despejo, aterro sanitário	Matéria prima	m2	2,98234E-06	2,61596E-06	2,97766E-06	2,61906E-06	2,98309E-06	2,60266E-06
133	Transformação, de local de despejo, forma de escória	Matéria prima	m2	3,63546E-06	3,09817E-06	3,63542E-06	3,1045E-06	3,63546E-06	3,08585E-06
134	Transformação, de floresta	Matéria prima	m2	0,007918942	0,007129045	0,007918084	0,007150582	0,007919122	0,007086001
135	Transformação, de floresta, extenso	Matéria prima	m2	2,670212934	2,26128727	2,670212083	2,261314572	2,670213108	2,261233065
136	Transformação, de floresta, intensivo, corte raso	Matéria prima	m2	7,66752E-06	6,91649E-06	7,66684E-06	6,93004E-06	7,66766E-06	6,88919E-06
137	Transformação, de área industrial	Matéria prima	m2	6,92753E-05	6,06766E-05	6,92691E-05	6,07856E-05	6,92766E-05	6,04558E-05
138	Transformação, de área industrial, bentos	Matéria prima	m2	2,31112E-07	1,99011E-07	2,31078E-07	1,99172E-07	2,31119E-07	1,98647E-07
139	Transformação, de área industrial, construído	Matéria prima	m2	3,57512E-07	3,39902E-07	3,57496E-07	3,40497E-07	3,57516E-07	3,38723E-07

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
140	Transformação, de área industrial, vegetação	Matéria prima	m2	6,09874E-07	5,79833E-07	6,09846E-07	5,80849E-07	6,0988E-07	5,77823E-07
141	Transformação, de local de mineração	Matéria prima	m2	0,00120485	0,001131316	0,001204817	0,001132791	0,001204856	0,001128409
142	Transformação, de prados e pastagens	Matéria prima	m2	0,00074817	0,000666088	0,000748115	0,000667744	0,000748181	0,000662796
143	Transformação, de prados e pastagens, intensivo	Matéria prima	m2	0,000121108	0,000102919	0,000121108	0,000102924	0,000121108	0,00010291
144	Transformação, de mares e oceanos	Matéria prima	m2	0,003325613	0,002940514	0,00332518	0,002947444	0,003325704	0,002926421
145	Transformação, from área de arbusto, sclerophyllous	Matéria prima	m2	0,000450104	0,000401226	0,000450072	0,000402291	0,00045011	0,000399111
146	Transformação, de floresta tropical	Matéria prima	m2	7,66752E-06	6,91649E-06	7,66684E-06	6,93004E-06	7,66766E-06	6,88919E-06
147	Transformação, desconhecido	Matéria prima	m2	0,01848317	0,01723071	0,018482758	0,017241299	0,01848325	0,017209558
148	Transformação, para arar	Matéria prima	m2	0,000900668	0,000811817	0,000900604	0,000812925	0,000900682	0,000809572
149	Transformação, para arar, de sequeiro	Matéria prima	m2	0,148522217	0,126216641	0,148522048	0,126222314	0,148522252	0,12620539
150	Transformação, para arar, de sequeiro, pousio	Matéria prima	m2	7,20246E-06	6,50762E-06	7,2013E-06	6,54589E-06	7,20269E-06	6,4317E-06
151	Transformação, para local de despejo	Matéria prima	m2	0,002206969	0,002117728	0,002206954	0,002118493	0,002206972	0,002116223
152	Transformação, para local de despejo, bentos	Matéria prima	m2	0,003321835	0,002937145	0,003321402	0,002944053	0,003321926	0,002923096
153	Transformação, para local de despejo, aterro de material inerte	Matéria prima	m2	0,000275698	0,00024373	0,000275683	0,000244223	0,000275702	0,000242751
154	Transformação, para local de despejo, aterro de material residual	Matéria prima	m2	7,063E-05	6,46251E-05	7,06229E-05	6,49313E-05	7,06315E-05	6,40208E-05
155	Transformação, para local de despejo, aterro sanitário	Matéria prima	m2	2,98234E-06	2,61596E-06	2,97766E-06	2,61906E-06	2,98309E-06	2,60266E-06
156	Transformação, para local de despejo, forma de escória	Matéria prima	m2	3,63546E-06	3,09817E-06	3,63542E-06	3,1045E-06	3,63546E-06	3,08585E-06

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
157	Transformação, para floresta	Matéria prima	m2	0,000642702	0,000584353	0,000642668	0,00058531	0,000642709	0,000582446
158	Transformação, para floresta, intensivo	Matéria prima	m2	0,00010142	9,39638E-05	0,000101413	9,425E-05	0,000101422	9,33977E-05
159	Transformação, para floresta, intensivo, corte raso	Matéria prima	m2	7,66752E-06	6,91649E-06	7,66684E-06	6,93004E-06	7,66766E-06	6,88919E-06
160	Transformação, para floresta, intensivo, normal	Matéria prima	m2	2,644214602	2,23926192	2,644213767	2,239288644	2,644214773	2,23920886
161	Transformação, para floresta, intensivo, de ciclo curto	Matéria prima	m2	7,66752E-06	6,91649E-06	7,66684E-06	6,93004E-06	7,66766E-06	6,88919E-06
162	Transformação, a heterogeneidade, agrícola	Matéria prima	m2	0,000370371	0,000333083	0,000370329	0,000334018	0,00037038	0,000331207
163	Transformação, para área industrial	Matéria prima	m2	0,005723264	0,005213717	0,00572313	0,005214489	0,005723286	0,005212012
164	Transformação, para área industrial, bentos	Matéria prima	m2	3,77725E-06	3,36675E-06	3,77649E-06	3,38883E-06	3,77741E-06	3,32281E-06
165	Transformação, para área industrial, construído	Matéria prima	m2	0,001688598	0,001564482	0,001688454	0,001569038	0,001688628	0,001555433
166	Transformação, para área industrial, vegetação	Matéria prima	m2	0,000652928	0,000590667	0,000652883	0,000592109	0,000652938	0,000587804
167	Transformação, para local de mineração	Matéria prima	m2	0,014114891	0,013041395	0,014114072	0,013063899	0,014115062	0,012996536
168	Transformação, para prados e pastagem	Matéria prima	m2	4,20531E-05	3,65363E-05	4,2048E-05	3,65695E-05	4,20542E-05	3,64642E-05
169	Transformação, para cultura permanente, fruta, intensivo	Matéria prima	m2	3,8729E-06	3,47087E-06	3,87253E-06	3,4776E-06	3,87297E-06	3,45727E-06
170	Transformação, para mares e oceanos	Matéria prima	m2	2,31112E-07	1,99011E-07	2,31078E-07	1,99172E-07	2,31119E-07	1,98647E-07
171	Transformação, para área de arbusto, sclerophyllous	Matéria prima	m2	0,000352944	0,000314068	0,000352916	0,000314876	0,00035295	0,000312458
172	Transformação, para área de tráfego, aterro ferroviário	Matéria prima	m2	9,7714E-05	9,06871E-05	9,7711E-05	9,08003E-05	9,77147E-05	9,04631E-05
173	Transformação, para área de tráfego, rede ferroviária	Matéria prima	m2	0,000107402	9,96786E-05	0,000107399	9,98031E-05	0,000107403	9,94324E-05

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
174	Transformação, para área de tráfego, aterro rodoviário	Matéria prima	m2	0,025891796	0,021926911	0,025891787	0,021927192	0,025891797	0,021926354
175	Transformação, para área de tráfego, rede rodoviária	Matéria prima	m2	0,000505164	0,000461933	0,000505142	0,000462582	0,000505168	0,000460642
176	Transformação, para desconhecido	Matéria prima	m2	0,000436014	0,000413814	0,000435996	0,000414397	0,000436017	0,000412656
177	Transformação, para urbano, descontínuo	Matéria prima	m2	1,5033E-06	1,2808E-06	1,5033E-06	1,2809E-06	1,5033E-06	1,28059E-06
178	Transformação, para cursos d'água, artificial	Matéria prima	m2	0,000655462	0,000594261	0,00065545	0,000594951	0,000655464	0,000592905
179	Transformação, para cursos d'água, artificial	Matéria prima	m2	0,000405922	0,000377094	0,00040591	0,000377645	0,000405924	0,00037601
180	Ulexita, no solo	Matéria prima	kg	4,82363E-06	4,31289E-06	4,82337E-06	4,33011E-06	4,82368E-06	4,27913E-06
181	Urânio oxide, 332 GJ per kg, em minério	Matéria prima	kg	6,41903E-06	6,20606E-06	6,41903E-06	6,20606E-06	6,41903E-06	6,20606E-06
182	Urânio, no solo	Matéria prima	kg	0,000262644	0,000234862	0,000262635	0,000235672	0,000262646	0,000233278
183	Vermiculita, no solo	Matéria prima	kg	1,42962E-05	1,10865E-05	1,41734E-05	1,09922E-05	1,43157E-05	1,10776E-05
184	Volume ocupado, repositório definitivo de resíduos radioativos de fraca atividade	Matéria prima	m3	5,40908E-07	4,83167E-07	5,40889E-07	4,84574E-07	5,40911E-07	4,8041E-07
185	Volume ocupado, repositório definitivo de resíduos radioativos	Matéria prima	m3	1,34233E-07	1,19967E-07	1,34229E-07	1,20323E-07	1,34234E-07	1,1927E-07
186	Volume ocupado, reservatório	Matéria prima	m3y	0,359751422	0,319962451	0,359734118	0,320791991	0,359754637	0,318328448
187	Volume ocupado, depósito subterrâneo	Matéria prima	m3	5,43899E-06	5,21327E-06	5,43892E-06	5,21593E-06	5,439E-06	5,20803E-06
188	Água, fresca, origem natural não especificado/m3	Matéria prima	m3	0,701962081	0,631898644	0,701945384	0,638240999	0,701965479	0,619584658
189	Água, lago	Matéria prima	m3	0,013702026	0,010707407	0,013588211	0,010622306	0,013720094	0,010694566
190	Água, processo, origem natural não especificado/m3	Matéria prima	m3	0,017932	0,010748	0,0166296	0,009412	0,019924	0,0125384
191	Água, rio	Matéria prima	m3	0,188628407	0,166317019	0,188289545	0,166400777	0,188682361	0,165625692
192	Água, salgada, oceano	Matéria prima	m3	0,022545552	0,020036213	0,022544146	0,020099664	0,02254584	0,019911116

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
193	Água, salgada, fundo	Matéria prima	m3	0,00390126	0,00355145	0,003900881	0,003564085	0,003901339	0,003526389
194	Água, uso em turbina, origem natural não especificado	Matéria prima	m3	162,5204843	145,7730098	162,5125251	146,2033577	162,5220339	144,9269351
195	Água, origem natural não especificado/m3	Matéria prima	m3	0,593023493	0,56346108	0,593010753	0,563791788	0,593026138	0,562800773
196	Água, doce, no solo	Matéria prima	m3	0,108044187	0,096741332	0,107780078	0,096614668	0,108086154	0,09657436
197	Madeira, duro, em pé	Matéria prima	m3	0,07364154	0,062360037	0,073641522	0,062360446	0,073641544	0,062359218
198	Madeira, floresta primária, em pé	Matéria prima	m3	7,93921E-08	7,16157E-08	7,9385E-08	7,1756E-08	7,93935E-08	7,1333E-08
199	Madeira, macia, em pé	Matéria prima	m3	0,000474559	0,000424747	0,000474513	0,000426786	0,000474569	0,000420726
200	Madeira, não especificado, em pé/m3	Matéria prima	m3	3,81641E-09	3,86987E-09	3,81608E-09	4,0158E-09	3,81647E-09	3,58662E-09
201	Zinco, 9.0% em sulfeto, Zn 5.3%, Pb, Ag, Cd, in, no solo	Matéria prima	kg	0,00564506	0,004918329	0,005643747	0,004958202	0,005645334	0,00483906
202	Zircônio, 50% in zircon, 0.39% em minério bruto, no solo	Matéria prima	kg	1,15587E-06	1,00278E-06	1,15548E-06	1,01507E-06	1,15595E-06	9,78363E-07
203	1-Butanol	Ar	kg	2,50098E-11	2,12456E-11	2,50095E-11	2,12561E-11	2,50099E-11	2,12246E-11
204	1-Pentanol	Ar	kg	2,38358E-11	2,15599E-11	2,38357E-11	2,15641E-11	2,38358E-11	2,15515E-11
205	1-Penteno	Ar	kg	1,80125E-11	1,62926E-11	1,80124E-11	1,62958E-11	1,80125E-11	1,62863E-11
206	1-Propanol	Ar	kg	1,74236E-09	1,50983E-09	1,74235E-09	1,51119E-09	1,74237E-09	1,50718E-09
207	1,4-Butanodiol	Ar	kg	3,526E-10	3,04626E-10	3,52505E-10	3,07612E-10	3,5262E-10	2,98694E-10
208	2-Aminopropanol	Ar	kg	2,02373E-11	1,71775E-11	2,02373E-11	1,71783E-11	2,02373E-11	1,7176E-11
209	2-Buteno, 2-metil-	Ar	kg	3,99538E-15	3,61388E-15	3,99536E-15	3,61459E-15	3,99538E-15	3,61248E-15
210	2-cloroacetophenone	Ar	kg	1,79842E-08	1,73875E-08	1,79842E-08	1,73875E-08	1,79842E-08	1,73875E-08
211	2-Metil-1-propanol	Ar	kg	6,16795E-11	5,46399E-11	6,16793E-11	5,46483E-11	6,16796E-11	5,46233E-11
212	2-Nitroácido benzóico	Ar	kg	3,64073E-11	3,08863E-11	3,64072E-11	3,08876E-11	3,64073E-11	3,08835E-11
213	2-Propanol	Ar	kg	5,24046E-06	4,54624E-06	5,23869E-06	4,60201E-06	5,24083E-06	4,43546E-06
214	o	Ar	kg	5,91212E-11	5,71597E-11	5,91212E-11	5,71597E-11	5,91212E-11	5,71597E-11
215	Acenafteno	Ar	kg	1,41185E-09	1,36209E-09	1,41185E-09	1,36221E-09	1,41185E-09	1,36185E-09
216	Acenaftileno	Ar	kg	6,71831E-10	6,49542E-10	6,71831E-10	6,49542E-10	6,71831E-10	6,49542E-10

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
217	Acetaldeído	Ar	kg	4,92991E-05	4,35576E-05	4,92964E-05	4,35732E-05	4,92997E-05	4,35232E-05
218	Ácido acético	Ar	kg	0,000107801	9,67071E-05	0,000107785	9,704E-05	0,000107804	9,60383E-05
219	Acetona	Ar	kg	1,78526E-05	1,54901E-05	1,78479E-05	1,55719E-05	1,78535E-05	1,53245E-05
220	Acetonitrile	Ar	kg	8,33594E-09	7,51945E-09	8,33519E-09	7,53418E-09	8,33609E-09	7,48977E-09
221	Acetophenone	Ar	kg	3,85375E-08	3,72589E-08	3,85375E-08	3,72589E-08	3,85375E-08	3,72589E-08
222	acroleína	Ar	kg	5,6593E-07	5,46622E-07	5,65929E-07	5,4664E-07	5,6593E-07	5,46586E-07
223	Ácido acrílico	Ar	kg	1,3559E-08	1,17629E-08	1,35544E-08	1,19072E-08	1,356E-08	1,14763E-08
224	Actínídeos, radioativo, não especificado	Ar	Bq	0,004990283	0,004444264	0,004989988	0,004459389	0,004990341	0,004414504
225	Aerossóis, radioativo, não especificado	Ar	Bq	0,107868447	0,096533417	0,107865213	0,096833525	0,107869081	0,095946974
226	Aldeídos, não especificado	Ar	kg	2,2683E-05	2,19144E-05	2,2683E-05	2,19177E-05	2,2683E-05	2,19078E-05
227	Alumínio	Ar	kg	0,013965857	0,013422024	0,013965759	0,013425864	0,013965877	0,013414434
228	Amônia	Ar	kg	0,025645721	0,02231598	0,025638196	0,022311765	0,025647301	0,022312602
229	Carbonato de amônio	Ar	kg	1,46919E-07	1,248E-07	1,46919E-07	1,24833E-07	1,46919E-07	1,24736E-07
230	Amônio cloro	Ar	kg	3,40698E-07	3,29394E-07	3,40698E-07	3,29394E-07	3,40698E-07	3,29394E-07
231	Anilina	Ar	kg	1,72063E-10	1,50914E-10	1,72062E-10	1,50941E-10	1,72063E-10	1,50861E-10
232	Antraceno	Ar	kg	5,64338E-10	5,45615E-10	5,64338E-10	5,45615E-10	5,64338E-10	5,45615E-10
233	Ácido antranílico	Ar	kg	2,65308E-11	2,25075E-11	2,65307E-11	2,25085E-11	2,65308E-11	2,25055E-11
234	Antimônio	Ar	kg	8,47939E-07	7,58294E-07	8,47783E-07	7,63508E-07	8,47972E-07	7,47952E-07
235	Antimônio-124	Ar	Bq	1,54993E-06	1,35701E-06	1,5498E-06	1,35847E-06	1,54995E-06	1,35399E-06
236	Antimônio-125	Ar	Bq	1,61747E-05	1,41615E-05	1,61733E-05	1,41767E-05	1,6175E-05	1,41299E-05
237	Argon-41	Ar	Bq	55,10395978	49,42655065	55,10255681	49,58332295	55,10424317	49,12064596
238	Arsênio	Ar	kg	1,21972E-05	1,11555E-05	1,21959E-05	1,11952E-05	1,21975E-05	1,10765E-05
239	Arsina	Ar	kg	1,58048E-13	1,37111E-13	1,57994E-13	1,38793E-13	1,58059E-13	1,33771E-13
240	Bário	Ar	kg	9,00196E-06	8,39467E-06	9,00182E-06	8,40542E-06	9,00198E-06	8,37362E-06
241	Bário-140	Ar	Bq	0,001052156	0,000921195	0,001052065	0,000922183	0,001052171	0,00091914
242	Benzal cloro	Ar	kg	1,08368E-15	9,44049E-16	1,08342E-15	9,51802E-16	1,08373E-15	9,28641E-16

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
243	Benzaldeído	Ar	kg	3,07803E-09	2,79122E-09	3,07797E-09	2,79687E-09	3,07805E-09	2,78017E-09
244	benzeno	Ar	kg	0,00363477	0,003460611	0,00363475	0,003461275	0,003634774	0,003459293
245	benzeno, 1-metil-2-nitro-	Ar	kg	3,14396E-11	2,66719E-11	3,14396E-11	2,66731E-11	3,14396E-11	2,66696E-11
246	benzeno, 1,2-dicloro-	Ar	kg	6,73536E-10	5,73635E-10	6,73535E-10	5,73664E-10	6,73536E-10	5,73576E-10
247	benzeno, cloro-	Ar	kg	5,65216E-08	5,46464E-08	5,65216E-08	5,46464E-08	5,65216E-08	5,46464E-08
248	benzeno, etil-	Ar	kg	1,83949E-05	1,6066E-05	1,83943E-05	1,60925E-05	1,8395E-05	1,60136E-05
249	benzeno, hexacloro-	Ar	kg	6,09516E-09	5,52747E-09	6,09463E-09	5,54079E-09	6,09527E-09	5,50083E-09
250	benzeno, pentacloro-	Ar	kg	8,25503E-10	7,1297E-10	8,25447E-10	7,16022E-10	8,25514E-10	7,06971E-10
251	Benzo(a)Antraceno	Ar	kg	2,14986E-10	2,07853E-10	2,14986E-10	2,07853E-10	2,14986E-10	2,07853E-10
252	Benzo(a)pireno	Ar	kg	1,69972E-06	1,59789E-06	1,6997E-06	1,59899E-06	1,69972E-06	1,59574E-06
253	Benzo(b,j,k)fluoranteno	Ar	kg	2,95606E-10	2,85798E-10	2,95606E-10	2,85798E-10	2,95606E-10	2,85798E-10
254	Benzo(g,h,i)perileno	Ar	kg	7,25578E-11	7,01505E-11	7,25578E-11	7,01505E-11	7,25578E-11	7,01505E-11
255	Benzyl cloro	Ar	kg	1,79842E-06	1,73875E-06	1,79842E-06	1,73875E-06	1,79842E-06	1,73875E-06
256	Berílio	Ar	kg	2,37343E-06	2,29147E-06	2,37342E-06	2,29158E-06	2,37343E-06	2,29124E-06
257	Biphenyl	Ar	kg	0,000348173	0,000336622	0,000348173	0,000336622	0,000348173	0,000336622
258	Boron	Ar	kg	0,000156041	0,000140032	0,000156037	0,000140475	0,000156042	0,000139166
259	Boron triFlúor	Ar	kg	2,16302E-15	1,87649E-15	2,16229E-15	1,8995E-15	2,16317E-15	1,83077E-15
260	Bromina	Ar	kg	3,7909E-05	3,29494E-05	3,79086E-05	3,29984E-05	3,79091E-05	3,28536E-05
261	Bromofórmio	Ar	kg	1,00197E-07	9,68731E-08	1,00197E-07	9,68731E-08	1,00197E-07	9,68731E-08
262	BTEX (benzeno, Tolueno, etilbenzeno, and Xileno), proporção não especificada	Ar	kg	2,03351E-05	1,96605E-05	2,03351E-05	1,96605E-05	2,03351E-05	1,96605E-05
263	Butadieno	Ar	kg	7,42019E-09	7,15756E-09	7,42014E-09	7,15922E-09	7,4202E-09	7,15426E-09
264	Butano	Ar	kg	0,000527257	0,000470292	0,000527195	0,00047187	0,00052727	0,000467139
265	Buteno	Ar	kg	6,74699E-06	6,16157E-06	6,74634E-06	6,18409E-06	6,74712E-06	6,11695E-06
266	Butyrolactone	Ar	kg	8,1306E-11	7,05442E-11	8,12786E-11	7,14069E-11	8,13118E-11	6,88307E-11
267	Cádmio	Ar	kg	6,9904E-06	6,41413E-06	6,98952E-06	6,42625E-06	6,99059E-06	6,38931E-06
268	Cálcio	Ar	kg	0,002191851	0,001865318	0,002191846	0,001865597	0,002191852	0,001864769

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
269	Carbono-14	Ar	Bq	473,5655605	422,8327587	473,5485358	424,0530438	473,5687658	420,4421404
270	Negro de fumo	Ar	kg	0,004904463	0,004671665	0,004213699	0,004054484	0,004234359	0,004080994
271	Dióxido de carbono	Ar	kg	4,572702671	4,362956053	4,769479825	4,567194821	4,412414606	4,225956693
272	Dióxido de carbono, biogênico	Ar	kg	37,07314766	31,40224709	37,07309396	31,40505954	37,07315817	31,39671518
273	Dióxido de carbono, fóssil	Ar	kg	194,5932248	185,2915194	194,589806	185,4542637	194,5939376	184,9709543
274	Dióxido de carbono, Transformação de terra	Ar	kg	0,001298305	0,001164048	0,001298257	0,001167839	0,001298315	0,001156631
275	Carbono diSulfeto	Ar	kg	0,000124547	0,000109873	0,000124519	0,000110656	0,000124553	0,000108311
276	monóxido de carbono	Ar	kg	1,24596E-06	1,20462E-06	1,24596E-06	1,20462E-06	1,24596E-06	1,20462E-06
277	monóxido de carbono, biogênico	Ar	kg	0,041781866	0,035356058	0,041781355	0,035356438	0,041781947	0,035354524
278	monóxido de carbono, fóssil	Ar	kg	44,96645865	42,84962783	40,73667752	39,19022587	41,7970118	40,27144805
279	Cério-141	Ar	Bq	0,00025506	0,000223313	0,000255038	0,000223552	0,000255063	0,000222814
280	Césio-134	Ar	Bq	1,22158E-05	1,06953E-05	1,22148E-05	1,07068E-05	1,2216E-05	1,06715E-05
281	Césio-137	Ar	Bq	0,000216546	0,000189593	0,000216527	0,000189796	0,000216549	0,00018917
282	Cloramina	Ar	kg	1,25678E-10	1,1132E-10	1,25677E-10	1,11337E-10	1,25678E-10	1,11288E-10
283	cloro	Ar	kg	9,17926E-12	8,87471E-12	9,17926E-12	8,87471E-12	9,17926E-12	8,87471E-12
284	Cloro	Ar	kg	0,000180636	0,000166809	0,000180635	0,000167125	0,000180636	0,000166194
285	Ácido cloroacético	Ar	kg	1,7408E-08	1,50497E-08	1,74079E-08	1,50543E-08	1,7408E-08	1,50404E-08
286	cloroformio	Ar	kg	1,71683E-07	1,64079E-07	1,71679E-07	1,64215E-07	1,71684E-07	1,63809E-07
287	clorosilane, trimetil-	Ar	kg	4,54099E-09	4,05289E-09	4,54038E-09	4,07183E-09	4,54111E-09	4,01526E-09
288	Ácido clorossulfúrico	Ar	kg	2,51615E-10	2,13466E-10	2,51615E-10	2,13475E-10	2,51615E-10	2,13448E-10
289	Cromo	Ar	kg	0,00024655	0,00023437	0,00024654	0,0002347	0,000246553	0,000233714
290	Cromo-51	Ar	Bq	1,63442E-05	1,43099E-05	1,63428E-05	1,43252E-05	1,63445E-05	1,4278E-05
291	Cromo VI	Ar	kg	1,51592E-06	1,35716E-06	1,51567E-06	1,36548E-06	1,51598E-06	1,34066E-06
292	Criseno	Ar	kg	2,68733E-10	2,59817E-10	2,68733E-10	2,59817E-10	2,68733E-10	2,59817E-10
293	Cobalto	Ar	kg	5,50316E-06	4,78391E-06	5,50193E-06	4,79079E-06	5,50342E-06	4,76869E-06
294	Cobalto-58	Ar	Bq	2,27601E-05	1,99272E-05	2,27581E-05	1,99485E-05	2,27604E-05	1,98827E-05
295	Cobalto-60	Ar	Bq	0,000201066	0,000176039	0,000201048	0,000176228	0,000201069	0,000175647

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
296	Cobre	Ar	kg	4,64758E-05	4,14486E-05	4,64705E-05	4,15961E-05	4,64769E-05	4,11549E-05
297	Cumeno	Ar	kg	1,01308E-05	9,80907E-06	1,01306E-05	9,88559E-06	1,01308E-05	9,6605E-06
298	Cyanide	Ar	kg	7,40601E-06	7,08477E-06	7,40581E-06	7,09358E-06	7,40606E-06	7,06737E-06
299	CyanoÁcido acético	Ar	kg	2,06064E-10	1,74821E-10	2,06064E-10	1,74828E-10	2,06064E-10	1,74807E-10
300	Dietilamina	Ar	kg	8,76392E-11	7,65498E-11	8,76388E-11	7,65621E-11	8,76393E-11	7,65253E-11
301	Dimetil malonato	Ar	kg	2,58405E-10	2,19226E-10	2,58404E-10	2,19235E-10	2,58405E-10	2,19208E-10
302	monóxido de dinitrogênio	Ar	kg	0,006278471	0,00534685	0,006255692	0,00532697	0,006283254	0,00535042
303	Dioxina, 2,3,7,8 Tetraclorodibenzo-p-	Ar	kg	6,4302E-10	6,19618E-10	6,43019E-10	6,19648E-10	6,4302E-10	6,19559E-10
304	Dipropylamina	Ar	kg	4,3924E-11	3,86644E-11	4,39237E-11	3,86718E-11	4,3924E-11	3,86496E-11
305	Etano	Ar	kg	0,001840669	0,001629382	0,001840463	0,001630867	0,001840711	0,001626188
306	Etano, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Ar	kg	1,36391E-08	1,22092E-08	1,36387E-08	1,2246E-08	1,36392E-08	1,21372E-08
307	Etano, 1,1,1-tricloro-, HCFC-140	Ar	kg	5,14823E-08	4,97705E-08	5,14823E-08	4,97707E-08	5,14823E-08	4,97703E-08
308	Etano, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	Ar	kg	4,76326E-06	4,13794E-06	4,7631E-06	4,14338E-06	4,76329E-06	4,12715E-06
309	Etano, 1,1,2-tricloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	Ar	kg	6,43501E-10	5,58257E-10	6,43283E-10	5,65105E-10	6,43547E-10	5,44656E-10
310	Etano, 1,2-dibromo-	Ar	kg	3,083E-09	2,98071E-09	3,083E-09	2,98071E-09	3,083E-09	2,98071E-09
311	Etano, 1,2-dicloro-	Ar	kg	1,22167E-06	1,14456E-06	1,22154E-06	1,1554E-06	1,2217E-06	1,12337E-06
312	Etano, 1,2-dicloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	Ar	kg	1,98838E-07	1,77483E-07	1,98831E-07	1,77978E-07	1,9884E-07	1,76511E-07
313	Etano, cloro-	Ar	kg	1,07905E-07	1,04325E-07	1,07905E-07	1,04325E-07	1,07905E-07	1,04325E-07
314	Etano, hexafluoro-, HFC-116	Ar	kg	6,70321E-07	6,07972E-07	6,70216E-07	6,11364E-07	6,70343E-07	6,0124E-07
315	Etanol	Ar	kg	2,02275E-05	1,74691E-05	2,02225E-05	1,74893E-05	2,02285E-05	1,74225E-05
316	Eteno	Ar	kg	0,001111161	0,001071553	0,001111152	0,001071831	0,001111163	0,001071002
317	Eteno, cloro-	Ar	kg	4,85517E-07	4,42455E-07	4,85432E-07	4,4727E-07	4,85535E-07	4,32994E-07
318	Eteno, tetracloro-	Ar	kg	1,17568E-07	1,13658E-07	1,17568E-07	1,13659E-07	1,17568E-07	1,13658E-07
319	etil acetato	Ar	kg	2,43509E-05	2,11263E-05	2,43427E-05	2,13851E-05	2,43527E-05	2,06123E-05
320	etil cellulose	Ar	kg	4,92232E-08	4,27027E-08	4,92066E-08	4,32265E-08	4,92267E-08	4,16622E-08

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
321	etilamina	Ar	kg	6,63672E-11	5,78825E-11	6,63668E-11	5,78933E-11	6,63672E-11	5,78611E-11
322	etilene diamina	Ar	kg	3,10032E-10	2,96054E-10	3,10029E-10	2,96158E-10	3,10033E-10	2,95847E-10
323	óxido etilene	Ar	kg	1,4076E-07	1,34946E-07	1,40753E-07	1,36084E-07	1,40762E-07	1,32731E-07
324	Etino	Ar	kg	3,87462E-05	3,71814E-05	3,8746E-05	3,7187E-05	3,87462E-05	3,71704E-05
325	fluoranteno	Ar	kg	1,908E-09	1,8447E-09	1,908E-09	1,8447E-09	1,908E-09	1,8447E-09
326	Fluoreno	Ar	kg	2,44546E-09	2,36433E-09	2,44546E-09	2,36433E-09	2,44546E-09	2,36433E-09
327	Flúor	Ar	kg	0,000114577	0,000110776	0,000114577	0,000110776	0,000114577	0,000110776
328	Flúor	Ar	kg	3,15011E-05	2,73155E-05	3,15005E-05	2,73551E-05	3,15012E-05	2,72378E-05
329	Ácido fluossilícico	Ar	kg	7,31198E-07	6,65236E-07	7,31092E-07	6,68648E-07	7,3122E-07	6,58465E-07
330	Formaldeído	Ar	kg	0,007491644	0,006365577	0,007491631	0,006365714	0,007491647	0,00636529
331	Formamide	Ar	kg	4,3594E-11	3,94315E-11	4,35938E-11	3,94392E-11	4,3594E-11	3,94162E-11
332	Ácido fórmico	Ar	kg	8,62278E-08	7,67303E-08	8,62126E-08	7,7153E-08	8,6231E-08	7,58879E-08
333	Furano	Ar	kg	1,58326E-08	1,42818E-08	1,58312E-08	1,43098E-08	1,58329E-08	1,42255E-08
334	Calor, Resíduo	Ar	MJ	1866,440603	1699,22976	1866,364384	1701,113862	1866,456435	1695,462288
335	Hélio	Ar	kg	1,7832E-05	1,63629E-05	1,78307E-05	1,64053E-05	1,78323E-05	1,62789E-05
336	Heptano	Ar	kg	6,72092E-05	6,13741E-05	6,72028E-05	6,15885E-05	6,72105E-05	6,0949E-05
337	Hexano	Ar	kg	0,000204543	0,000184978	0,000204528	0,000185564	0,000204546	0,000183819
338	Hidrazina, metil-	Ar	kg	4,36758E-07	4,22267E-07	4,36758E-07	4,22267E-07	4,36758E-07	4,22267E-07
339	Hidrocarbonetos, alifáticos, alcanos, cíclico	Ar	kg	1,49361E-07	1,88379E-07	1,49357E-07	2,1267E-07	1,49361E-07	1,41307E-07
340	Hidrocarbonetos, alifáticos, alcanos, não especificado	Ar	kg	0,013138453	0,012643038	0,013138425	0,012643393	0,013138459	0,012642307
341	Hidrocarbonetos, alifáticos, insaturado	Ar	kg	0,001157603	0,000985677	0,001157602	0,000985786	0,001157604	0,000985464
342	Hidrocarbonetos, aromático	Ar	kg	7,35181E-05	6,88783E-05	7,3508E-05	7,12525E-05	7,35201E-05	6,42627E-05
343	Hidrocarbonetos, clorada	Ar	kg	6,87562E-07	6,11891E-07	6,87454E-07	6,18293E-07	6,87585E-07	5,99321E-07
344	Hidrocarbonetos, não especificado	Ar	kg	0,008566605	0,006893363	0,008758473	0,00710778	0,007955901	0,006340137
345	Hidrogênio	Ar	kg	8,13752E-05	8,62495E-05	8,13653E-05	9,27055E-05	8,13772E-05	7,37259E-05

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
346	Hidrogênio-3, Trítio	Ar	Bq	2597,913635	2323,59693	2597,831679	2330,669111	2597,929509	2309,768132
347	Hidrogênio cloro	Ar	kg	0,00710765	0,006761792	0,007107578	0,006766393	0,007107665	0,006752767
348	Hidrogênio Flúor	Ar	kg	0,014912966	0,014400373	0,014912954	0,014401153	0,014912968	0,014398842
349	peróxido de hidrogênio	Ar	kg	3,6484E-08	3,16517E-08	3,64716E-08	3,20397E-08	3,64865E-08	3,08809E-08
350	Hidrogênio Sulfeto	Ar	kg	0,001619501	0,001545384	0,001619473	0,001545569	0,001619507	0,001544984
351	indeno(1,2,3-cd)pireno	Ar	kg	1,63927E-10	1,58488E-10	1,63927E-10	1,58488E-10	1,63927E-10	1,58488E-10
352	Iodo	Ar	kg	8,97325E-06	8,04793E-06	8,97302E-06	8,07381E-06	8,9733E-06	7,99744E-06
353	Iodo-129	Ar	Bq	0,458603776	0,410050797	0,458588962	0,411287087	0,458606629	0,407632622
354	Iodo-131	Ar	Bq	21,67501801	19,44615097	21,67447839	19,50820092	21,67512763	19,32509936
355	Iodo-133	Ar	Bq	0,001853635	0,001632374	0,001853495	0,001635269	0,001853659	0,001626549
356	Iodo-135	Ar	Bq	0,001291858	0,001151576	0,00129179	0,001155292	0,001291871	0,001144271
357	Ferro	Ar	kg	0,000447164	0,000411232	0,000447151	0,000411911	0,000447167	0,000409898
358	Isocyanic acid	Ar	kg	0,01184587	0,010023468	0,01184587	0,010023469	0,01184587	0,010023467
359	Isophorone	Ar	kg	1,49012E-06	1,44068E-06	1,49012E-06	1,44068E-06	1,49012E-06	1,44068E-06
360	Isopreno	Ar	kg	0,000300867	0,000290885	0,000300867	0,000290885	0,000300867	0,000290885
361	Isopropylamina	Ar	kg	2,70942E-11	2,31111E-11	2,70941E-11	2,31138E-11	2,70942E-11	2,31058E-11
362	Querosene	Ar	kg	1,63169E-07	1,57756E-07	1,63169E-07	1,57756E-07	1,63169E-07	1,57756E-07
363	Crípton-85	Ar	Bq	172,9956761	155,1556264	172,9912258	155,6463586	172,9965727	154,1979848
364	Crípton-85m	Ar	Bq	17,88540526	15,71883806	17,8840327	15,74092903	17,88563565	15,67390022
365	Crípton-87	Ar	Bq	5,445286326	4,812733519	5,444945115	4,821866278	5,4453449	4,79450835
366	Crípton-88	Ar	Bq	6,076992393	5,35596898	6,076568863	5,36481943	6,077064211	5,338162335
367	Crípton-89	Ar	Bq	2,030422923	1,780644466	2,030256279	1,78281253	2,030450711	1,776184341
368	Ácido láctico	Ar	kg	3,44078E-11	3,02877E-11	3,44076E-11	3,02935E-11	3,44079E-11	3,02762E-11
369	Lantânio-140	Ar	Bq	8,99226E-05	7,873E-05	8,99148E-05	7,88144E-05	8,99238E-05	7,85544E-05
370	Chumbo	Ar	kg	0,000419816	0,000402207	0,000419811	0,000402329	0,000419817	0,000401965
371	Chumbo-210	Ar	Bq	2,705722278	2,428035342	2,705646655	2,435080154	2,705737496	2,414269647
372	m-Xileno	Ar	kg	4,22226E-05	3,57503E-05	4,22226E-05	3,57517E-05	4,22226E-05	3,57475E-05

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
373	Magnésio	Ar	kg	0,000349743	0,000319122	0,000349741	0,000319223	0,000349744	0,000318923
374	Manganês	Ar	kg	0,000118376	0,000106625	0,000118376	0,000106659	0,000118376	0,000106558
375	Manganês-54	Ar	Bq	8,3701E-06	7,32829E-06	8,36938E-06	7,33615E-06	8,37022E-06	7,31194E-06
376	Mercaptanos, não especificado	Ar	kg	0,000557508	0,000539011	0,000557508	0,000539011	0,000557508	0,000539011
377	Mercurio	Ar	kg	3,01972E-05	2,91163E-05	3,01971E-05	2,91306E-05	3,01972E-05	2,90885E-05
378	Metais, não especificado	Ar	kg	3,40383E-14	3,2909E-14	3,40383E-14	3,2909E-14	3,40383E-14	3,2909E-14
379	Metano	Ar	kg	0,068433287	0,066162837	0,068433287	0,066162837	0,068433287	0,066162837
380	Metano, biogênico	Ar	kg	0,002757051	0,00237368	0,002756914	0,002377093	0,002757074	0,002366853
381	Metano, bromo-, Halon 1001	Ar	kg	4,11066E-07	3,97428E-07	4,11066E-07	3,97428E-07	4,11066E-07	3,97428E-07
382	Metano, bromoclorodifluoro-, Halon 1211	Ar	kg	3,75678E-07	3,23658E-07	3,75623E-07	3,23929E-07	3,75689E-07	3,23049E-07
383	Metano, bromotrifluoro-, Halon 1301	Ar	kg	1,89281E-07	1,73051E-07	1,89264E-07	1,73615E-07	1,89284E-07	1,71931E-07
384	Metano, clorodifluoro-, HCFC-22	Ar	kg	1,42209E-06	1,22918E-06	1,42189E-06	1,23065E-06	1,42213E-06	1,22601E-06
385	Metano, dicloro-, HCC-30	Ar	kg	8,9711E-07	8,67183E-07	8,9711E-07	8,67191E-07	8,9711E-07	8,67167E-07
386	Metano, diclorodifluoro-, CFC-12	Ar	kg	5,30583E-09	4,80757E-09	5,30438E-09	4,9567E-09	5,30613E-09	4,51641E-09
387	Metano, diclorofluoro-, HCFC-21	Ar	kg	4,4078E-12	3,82655E-12	4,40614E-12	3,8715E-12	4,40814E-12	3,7369E-12
388	Metano, fóssil	Ar	kg	0,32487736	0,308220924	0,324870267	0,30881875	0,324878841	0,307051749
389	Metano, monocloro-, R-40	Ar	kg	1,36301E-06	1,31768E-06	1,36301E-06	1,31769E-06	1,36301E-06	1,31767E-06
390	Metano, tetracloro-, CFC-10	Ar	kg	1,44552E-07	1,3903E-07	1,44549E-07	1,39387E-07	1,44552E-07	1,38335E-07
391	Metano, tetrafluoro-, CFC-14	Ar	kg	5,6314E-06	5,12338E-06	5,63059E-06	5,14965E-06	5,63157E-06	5,07123E-06
392	Metano, triclorofluoro-, CFC-11	Ar	kg	7,15567E-12	6,21206E-12	7,15297E-12	6,28504E-12	7,15621E-12	6,06652E-12
393	Metano, trifluoro-, HFC-23	Ar	kg	1,4025E-09	1,21755E-09	1,40197E-09	1,23186E-09	1,40261E-09	1,18903E-09
394	Metanosulfonic acid	Ar	kg	2,08235E-10	1,76663E-10	2,08235E-10	1,7667E-10	2,08235E-10	1,76649E-10
395	Metanol	Ar	kg	0,000752245	0,000639248	0,000752191	0,000639401	0,000752256	0,000638867
396	Metil acetato	Ar	kg	8,43047E-12	7,15202E-12	8,43046E-12	7,15234E-12	8,43047E-12	7,15139E-12
397	Metil Acrilato	Ar	kg	1,5384E-08	1,33461E-08	1,53788E-08	1,35098E-08	1,53851E-08	1,30209E-08
398	Metil amina	Ar	kg	9,96757E-11	8,51718E-11	9,96656E-11	8,54867E-11	9,96778E-11	8,45463E-11

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
399	Metil Borato	Ar	kg	1,02939E-11	9,22888E-12	1,02939E-11	9,2306E-12	1,02939E-11	9,22548E-12
400	Metil etil cetona	Ar	kg	2,53525E-05	2,20947E-05	2,53443E-05	2,23535E-05	2,53542E-05	2,15806E-05
401	Metil formato	Ar	kg	7,11855E-11	6,21817E-11	7,11652E-11	6,28187E-11	7,11897E-11	6,09165E-11
402	Metil lactate	Ar	kg	3,77738E-11	3,32507E-11	3,77736E-11	3,32571E-11	3,77739E-11	3,3238E-11
403	Metil methAcrilato	Ar	kg	5,13833E-08	4,96785E-08	5,13833E-08	4,96785E-08	5,13833E-08	4,96785E-08
404	Molibdênio	Ar	kg	1,52555E-06	1,33712E-06	1,52527E-06	1,33929E-06	1,52561E-06	1,33249E-06
405	MonoEtanolamina	Ar	kg	7,56323E-07	6,60926E-07	7,5611E-07	6,67676E-07	7,56367E-07	6,47523E-07
406	Naftaleno	Ar	kg	0,001810522	0,001750453	0,001810522	0,001750453	0,001810522	0,001750453
407	Níquel	Ar	kg	0,00026425	0,000250354	0,000264237	0,000250475	0,000264252	0,0002501
408	Nióbio-95	Ar	Bq	9,93622E-07	8,69947E-07	9,93537E-07	8,7088E-07	9,93636E-07	8,68006E-07
409	Nitrato	Ar	kg	3,10616E-06	2,81583E-06	3,10606E-06	2,8225E-06	3,10617E-06	2,80276E-06
410	Nitrobenzeno	Ar	kg	2,61772E-10	2,28677E-10	2,6177E-10	2,28714E-10	2,61772E-10	2,28603E-10
411	Nitrogênio	Ar	kg	0,041651905	0,030502542	0,040772019	0,029690247	0,041293215	0,030241988
412	óxidos de nitrogênio	Ar	kg	0,619071687	0,576835413	0,620283489	0,578443615	0,615160901	0,572808578
413	NMVOC, non-Metano compostos orgânicos voláteis, origem não especificada	Ar	kg	0,050610282	0,045382721	0,050608964	0,045503245	0,050610557	0,045147184
414	Gases nobres, radioativo, não especificado	Ar	Bq	4406903,719	3940340,688	4406761,372	3952221,05	4406931,133	3917102,784
415	Ácidos orgânicos	Ar	kg	1,25198E-09	1,21044E-09	1,25198E-09	1,21044E-09	1,25198E-09	1,21044E-09
416	Substâncias orgânicas, não especificado	Ar	kg	1,62966E-05	1,57559E-05	1,62966E-05	1,57559E-05	1,62966E-05	1,57559E-05
417	Ozônio	Ar	kg	0,000156608	0,000140043	0,000156598	0,000140467	0,000156609	0,000139208
418	PAH, policíclicos aromáticos Hidrocarbonetos	Ar	kg	5,48326E-05	5,20332E-05	5,48319E-05	5,20466E-05	5,48328E-05	5,20062E-05
419	Particulado, < 2.5 um	Ar	kg	0,086481066	0,081003139	0,086479361	0,08102868	0,086481422	0,080951035
420	Particulado, > 10 um	Ar	kg	0,404369092	0,389456303	0,404367534	0,389503154	0,404369413	0,389363139
421	Particulado, > 2.5 um, and < 10um	Ar	kg	0,290398727	0,280258391	0,290397908	0,280278823	0,290398896	0,280217546
422	Particulado, fuligem	Ar	kg	0,001756535	0,001413381	0,001795886	0,001457356	0,001631285	0,001299919

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
423	Particulado, não especificado	Ar	kg	0,157052512	0,151841892	0,157052512	0,151841892	0,157052512	0,151841892
424	Pentane	Ar	kg	0,000680679	0,000605226	0,000680599	0,000606735	0,000680696	0,000602181
425	Fenantreno	Ar	kg	9,47092E-05	9,15669E-05	9,47092E-05	9,15669E-05	9,47092E-05	9,15669E-05
426	Fenol	Ar	kg	1,58724E-06	1,42331E-06	1,58704E-06	1,43024E-06	1,58728E-06	1,40956E-06
427	Fenol, 2,4-dicloro-	Ar	kg	3,68314E-11	3,12892E-11	3,68312E-11	3,1292E-11	3,68314E-11	3,12835E-11
428	Fenol, pentacloro-	Ar	kg	1,19204E-07	1,06745E-07	1,19201E-07	1,07081E-07	1,19204E-07	1,06089E-07
429	Fenóis, não especificado	Ar	kg	1,30258E-07	1,25936E-07	1,30258E-07	1,25936E-07	1,30258E-07	1,25936E-07
430	Fosfina	Ar	kg	1,17203E-11	1,01677E-11	1,17163E-11	1,02924E-11	1,17211E-11	9,91996E-12
431	Fósforo	Ar	kg	0,000108818	9,24622E-05	0,000108818	9,24682E-05	0,000108818	9,24503E-05
432	Phthalate, dioctyl-	Ar	kg	1,87549E-07	1,81327E-07	1,87549E-07	1,81327E-07	1,87549E-07	1,81327E-07
433	Platina	Ar	kg	6,70305E-12	5,99152E-12	6,70283E-12	6,00915E-12	6,7031E-12	5,95702E-12
434	Plutônio-238	Ar	Bq	6,2561E-08	5,59376E-08	6,2559E-08	5,61063E-08	6,25614E-08	5,56077E-08
435	Plutônio-alpha	Ar	Bq	1,43415E-07	1,28231E-07	1,4341E-07	1,28618E-07	1,43416E-07	1,27475E-07
436	Polônio-210	Ar	Bq	4,779842007	4,28967934	4,779709657	4,302129572	4,779868703	4,265353385
437	Polycolorada biphenyls	Ar	kg	5,78542E-07	5,58779E-07	5,78541E-07	5,588E-07	5,78542E-07	5,58739E-07
438	Potássio	Ar	kg	0,008327151	0,007058507	0,008327146	0,007058897	0,008327152	0,007057744
439	Potássio-40	Ar	Bq	0,61978388	0,556697527	0,619767464	0,558304146	0,619787239	0,553559469
440	Propanal	Ar	kg	9,80283E-07	9,47485E-07	9,80283E-07	9,47491E-07	9,80283E-07	9,47472E-07
441	Propane	Ar	kg	0,000922621	0,000829258	0,000922531	0,000830598	0,000922639	0,000826524
442	propeno	Ar	kg	9,3409E-05	8,94189E-05	9,34074E-05	8,96519E-05	9,34094E-05	8,89649E-05
443	Ácido propiônico	Ar	kg	4,26736E-06	3,65693E-06	4,26667E-06	3,65992E-06	4,26751E-06	3,65008E-06
444	Propylamina	Ar	kg	1,38058E-11	1,24876E-11	1,38057E-11	1,249E-11	1,38058E-11	1,24827E-11
445	Óxido de propileno	Ar	kg	4,01372E-07	3,49949E-07	4,01322E-07	3,51571E-07	4,01383E-07	3,4673E-07
446	Protactínio-234	Ar	Bq	0,064512287	0,057624062	0,064510013	0,057792017	0,064512717	0,057295135
447	pireno	Ar	kg	8,86817E-10	8,57395E-10	8,86817E-10	8,57395E-10	8,86817E-10	8,57395E-10
448	Espécies radioativas, other beta initters	Ar	Bq	3,458414059	3,027421066	3,458283658	3,032815785	3,458440165	3,016768062

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
449	Espécies radioativas, não especificado	Ar	Bq	6708,372575	6485,805099	6708,372575	6485,805099	6708,372575	6485,805074
450	RadioNuclídeos (including Radon)	Ar	kg	9,12457E-06	8,82184E-06	9,12457E-06	8,82184E-06	9,12457E-06	8,82184E-06
451	Rádio-226	Ar	Bq	2,775086856	2,48242501	2,774994244	2,489631514	2,775104627	2,468319429
452	Rádio-228	Ar	Bq	0,73854979	0,667307802	0,738530236	0,668477928	0,738553848	0,665010657
453	Radon-220	Ar	Bq	23,2468492	20,84420779	23,24623568	20,91189604	23,24697414	20,71211849
454	Radon-222	Ar	Bq	8522566,019	7612719,103	8522266,609	7634890,517	8522622,671	7569299,326
455	Rutênio-103	Ar	Bq	2,18302E-07	1,9113E-07	2,18283E-07	1,91335E-07	2,18305E-07	1,90704E-07
456	Escândio	Ar	kg	8,80688E-07	7,93358E-07	8,8066E-07	7,95401E-07	8,80693E-07	7,89356E-07
457	Selênio	Ar	kg	2,46143E-05	2,35879E-05	2,46139E-05	2,35959E-05	2,46143E-05	2,35717E-05
458	Silício	Ar	kg	0,000751989	0,000714924	0,000751982	0,000715268	0,00075199	0,000714247
459	Silício tetraFlúor	Ar	kg	7,57099E-09	7,19806E-09	7,57063E-09	7,21066E-09	7,57106E-09	7,1731E-09
460	Prata	Ar	kg	3,49987E-08	3,12559E-08	3,49974E-08	3,13467E-08	3,49989E-08	3,10781E-08
461	Prata-110	Ar	Bq	2,16353E-06	1,89424E-06	2,16334E-06	1,89627E-06	2,16356E-06	1,89001E-06
462	Sódio	Ar	kg	0,000538575	0,000460057	0,000538562	0,000460147	0,000538578	0,000459865
463	Sódio Clorato	Ar	kg	2,11972E-08	1,88032E-08	2,11933E-08	1,89509E-08	2,1198E-08	1,85109E-08
464	Sódio dicromato	Ar	kg	5,47894E-08	7,69263E-08	5,47862E-08	9,19086E-08	5,479E-08	4,78931E-08
465	Sódio formato	Ar	kg	2,4417E-09	2,2762E-09	2,4415E-09	2,28449E-09	2,44175E-09	2,2598E-09
466	Sódio Hidróxido	Ar	kg	1,36026E-07	1,18008E-07	1,3598E-07	1,19455E-07	1,36035E-07	1,15133E-07
467	Estrôncio	Ar	kg	9,03293E-06	8,42895E-06	9,03281E-06	8,43896E-06	9,03296E-06	8,40936E-06
468	Estireno	Ar	kg	2,01704E-07	1,85227E-07	2,01692E-07	1,8649E-07	2,01707E-07	1,82762E-07
469	Sulfato	Ar	kg	0,000844279	0,000794747	0,000844253	0,000796223	0,000844284	0,000791848
470	dióxido de enxofre	Ar	kg	1,626937802	1,567066831	1,626930907	1,567418824	1,626939237	1,566374258
471	Enxofre hexaFlúor	Ar	kg	2,15628E-06	1,91928E-06	2,15622E-06	1,92553E-06	2,1563E-06	1,90708E-06
472	Enxofre oxides	Ar	kg	0,002149184	0,00207788	0,002149184	0,00207788	0,002149184	0,00207788
473	Trióxido de enxofre	Ar	kg	2,27188E-09	1,98044E-09	2,27187E-09	1,98074E-09	2,27188E-09	1,97984E-09
474	Ácido sulfúrico	Ar	kg	2,84969E-08	2,4723E-08	2,84873E-08	2,5026E-08	2,84989E-08	2,41214E-08

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
475	Ácido sulfúrico, dimetil ester	Ar	kg	1,2332E-07	1,19228E-07	1,2332E-07	1,19228E-07	1,2332E-07	1,19228E-07
476	t-butil metil éter	Ar	kg	2,05595E-06	1,75548E-06	2,05595E-06	1,75556E-06	2,05595E-06	1,75533E-06
477	t-butilamina	Ar	kg	1,59041E-10	1,35073E-10	1,59041E-10	1,35081E-10	1,59041E-10	1,35058E-10
478	Tar	Ar	kg	1,03241E-11	9,98161E-12	1,03241E-11	9,98161E-12	1,03241E-11	9,98161E-12
479	Terpenes	Ar	kg	6,94679E-09	6,26636E-09	6,94617E-09	6,27863E-09	6,94692E-09	6,24162E-09
480	Tálio	Ar	kg	4,6706E-08	4,34908E-08	4,67047E-08	4,35233E-08	4,67062E-08	4,3426E-08
481	Tório	Ar	kg	1,05794E-07	1,01262E-07	1,05794E-07	1,01281E-07	1,05794E-07	1,01223E-07
482	Tório-228	Ar	Bq	0,149577778	0,134529347	0,149573833	0,134883063	0,149578588	0,133837961
483	Tório-230	Ar	Bq	0,252922588	0,22667667	0,25291356	0,227319712	0,25292431	0,225416832
484	Tório-232	Ar	Bq	0,191787196	0,172214263	0,191782145	0,172721666	0,191788229	0,171223404
485	Tório-234	Ar	Bq	0,064524502	0,05763494	0,064522228	0,057802927	0,064524933	0,057305952
486	Estanho	Ar	kg	1,12112E-06	1,00064E-06	1,1209E-06	1,00754E-06	1,12116E-06	9,86955E-07
487	Titânio	Ar	kg	3,27345E-05	3,03945E-05	3,27339E-05	3,04355E-05	3,27346E-05	3,0314E-05
488	Tolueno	Ar	kg	0,000269158	0,00023934	0,000269146	0,000239548	0,000269161	0,000238917
489	Tolueno, 2-cloro-	Ar	kg	1,19401E-10	1,03253E-10	1,19401E-10	1,03266E-10	1,19401E-10	1,03228E-10
490	Tolueno, 2,4-dinitro-	Ar	kg	7,19366E-10	6,95499E-10	7,19366E-10	6,95499E-10	7,19366E-10	6,95499E-10
491	Trimetilamina	Ar	kg	1,49188E-11	1,26565E-11	1,49188E-11	1,26571E-11	1,49188E-11	1,26554E-11
492	Tungsten	Ar	kg	8,8185E-08	7,87702E-08	8,81819E-08	7,89996E-08	8,81856E-08	7,8321E-08
493	Urânio	Ar	kg	6,69451E-08	6,34046E-08	6,69445E-08	6,34293E-08	6,69453E-08	6,3356E-08
494	Urânio-234	Ar	Bq	0,764442873	0,683586432	0,764415866	0,685560354	0,764447996	0,679720233
495	Urânio-235	Ar	Bq	0,036385965	0,032501347	0,036384687	0,032596007	0,036386207	0,032315967
496	Urânio-238	Ar	Bq	1,247108984	1,117047646	1,247069224	1,120280135	1,247116715	1,110723369
497	Urânio alpha	Ar	Bq	3,505043784	3,13083881	3,504920663	3,139957923	3,50506708	3,112980276
498	Vanádio	Ar	kg	0,000140527	0,000120497	0,000140485	0,000120566	0,000140536	0,0001203
499	Acetato de vinila	Ar	kg	1,95257E-08	1,88778E-08	1,95257E-08	1,88778E-08	1,95257E-08	1,88778E-08
500	VOC, compostos orgânicos voláteis	Ar	kg	0,003921268	0,00379117	0,003921268	0,00379117	0,003921268	0,00379117
501	Água	Ar	kg	0,081880034	0,064338636	0,080752994	0,063297253	0,081534416	0,064108155

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
502	Xenon-131m	Ar	Bq	26,42736469	23,32836241	26,42562638	23,3700998	26,42766139	23,24479292
503	Xenon-133	Ar	Bq	895,777774	789,6589728	895,715808	790,9781455	895,7882903	787,0066783
504	Xenon-133m	Ar	Bq	2,455551339	2,190022838	2,455453324	2,195894615	2,455569324	2,178494513
505	Xenon-135	Ar	Bq	363,0666636	320,1328157	363,0417665	320,674344	363,070893	319,0448756
506	Xenon-135m	Ar	Bq	220,9409264	194,686992	220,9254155	195,0052381	220,9435545	194,0462584
507	Xenon-137	Ar	Bq	5,561379669	4,877297412	5,560923431	4,883242228	5,561455752	4,865068869
508	Xenon-138	Ar	Bq	44,53183138	39,11701508	44,52835619	39,17020579	44,53241374	39,00854794
509	Xileno	Ar	kg	0,00016261	0,000148043	0,000162604	0,00014843	0,000162611	0,000147284
510	Zinco	Ar	kg	0,000224512	0,000200919	0,000224505	0,000201143	0,000224514	0,000200475
511	Zinco-65	Ar	Bq	4,1794E-05	3,65919E-05	4,17904E-05	3,66312E-05	4,17946E-05	3,65103E-05
512	Zircônio	Ar	kg	1,10652E-06	1,06918E-06	1,10652E-06	1,0692E-06	1,10652E-06	1,06914E-06
513	Zircônio-95	Ar	Bq	4,08518E-05	3,57671E-05	4,08483E-05	3,58054E-05	4,08524E-05	3,56873E-05
514	1-Butanol	Água	kg	8,84287E-08	7,67176E-08	8,83989E-08	7,76567E-08	8,8435E-08	7,48523E-08
515	1-Pentanol	Água	kg	5,72068E-11	5,17445E-11	5,72066E-11	5,17546E-11	5,72069E-11	5,17244E-11
516	1-Penteno	Água	kg	4,32302E-11	3,91023E-11	4,32299E-11	3,911E-11	4,32302E-11	3,90872E-11
517	1-Propanol	Água	kg	3,24098E-10	2,7925E-10	3,24098E-10	2,79272E-10	3,24098E-10	2,79206E-10
518	1,4-Butanodiol	Água	kg	1,41041E-10	1,21851E-10	1,41003E-10	1,23046E-10	1,41049E-10	1,19478E-10
519	2-Aminopropanol	Água	kg	5,09119E-11	4,32131E-11	5,09119E-11	4,3215E-11	5,09119E-11	4,32093E-11
520	2-Hexanona	Água	kg	1,42786E-08	1,38048E-08	1,42786E-08	1,38048E-08	1,42786E-08	1,38048E-08
521	2-Metil-1-propanol	Água	kg	1,48027E-10	1,31132E-10	1,48027E-10	1,31153E-10	1,48027E-10	1,31093E-10
522	2-Metil-2-Buteno	Água	kg	9,5889E-15	8,67332E-15	9,58886E-15	8,67502E-15	9,58891E-15	8,66996E-15
523	2-Propanol	Água	kg	1,50014E-10	1,27961E-10	1,50013E-10	1,27976E-10	1,50014E-10	1,27931E-10
524	4-Metil-2-pentanona	Água	kg	9,19637E-09	8,89064E-09	9,19637E-09	8,89069E-09	9,19637E-09	8,89055E-09
525	Acenafteno	Água	kg	1,89249E-09	1,72603E-09	1,8923E-09	1,73235E-09	1,89253E-09	1,71348E-09
526	Acenaftileno	Água	kg	1,18357E-10	1,07946E-10	1,18345E-10	1,08342E-10	1,18359E-10	1,07162E-10
527	Acetaldeído	Água	kg	1,78268E-07	1,54687E-07	1,78214E-07	1,56407E-07	1,7828E-07	1,51271E-07
528	Ácido acético	Água	kg	2,73422E-06	2,65992E-05	2,73408E-06	3,90139E-05	2,73425E-06	2,54539E-06

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
529	Acetona	Água	kg	3,89379E-08	3,56279E-08	3,89378E-08	3,56287E-08	3,89379E-08	3,56265E-08
530	Acetonitrile	Água	kg	1,72554E-10	1,46391E-10	1,72554E-10	1,46397E-10	1,72554E-10	1,46379E-10
531	Acetil cloro	Água	kg	4,49394E-11	4,06484E-11	4,49392E-11	4,06564E-11	4,49395E-11	4,06326E-11
532	Acidez, não especificado	Água	kg	2,68677E-07	3,39746E-07	2,68652E-07	3,89824E-07	2,68682E-07	2,42682E-07
533	Ácidos, não especificado	Água	kg	1,92812E-10	1,86415E-10	1,92812E-10	1,86415E-10	1,92812E-10	1,86415E-10
534	Acrilato, ion	Água	kg	3,2091E-08	2,78399E-08	3,20801E-08	2,81814E-08	3,20932E-08	2,71616E-08
535	Actinídeos, radioativo, não especificado	Água	Bq	0,744914547	0,666048377	0,744890485	0,668056386	0,74491918	0,662120723
536	Alumínio	Água	kg	0,052050587	0,047845363	0,052046765	0,047983535	0,052051278	0,047571734
537	Amônia	Água	kg	4,0072E-05	3,87425E-05	4,0072E-05	3,87425E-05	4,0072E-05	3,87425E-05
538	Amônia, as N	Água	kg	9,68323E-11	9,36197E-11	9,68323E-11	9,36197E-11	9,68323E-11	9,36197E-11
539	Amônio, ion	Água	kg	0,001933702	0,001678229	0,001932811	0,001678362	0,001933889	0,001676605
540	Anilina	Água	kg	4,27594E-10	3,74618E-10	4,27591E-10	3,74683E-10	4,27594E-10	3,74489E-10
541	Antimônio	Água	kg	4,1635E-05	3,80476E-05	4,16291E-05	3,84384E-05	4,16363E-05	3,72812E-05
542	Antimônio-122	Água	Bq	0,000624871	0,000547095	0,000624818	0,000547681	0,00062488	0,000545874
543	Antimônio-124	Água	Bq	0,13587108	0,121054377	0,135865419	0,121380462	0,135872118	0,120413823
544	Antimônio-125	Água	Bq	0,125220503	0,111532247	0,125215147	0,111830539	0,125221483	0,110946012
545	AOX, Adsorvíveis orgânicos halogenados como Cl	Água	kg	1,87363E-06	1,62595E-06	1,87359E-06	1,62804E-06	1,87364E-06	1,62183E-06
546	Arsênio, ion	Água	kg	0,000243189	0,000226511	0,000243177	0,000227016	0,000243192	0,000225512
547	Barita	Água	kg	0,002069749	0,00183006	0,00206948	0,001834364	0,002069806	0,001821306
548	Bário	Água	kg	0,004353271	0,004151063	0,004353225	0,004153886	0,004353281	0,004145523
549	Bário-140	Água	Bq	0,002737237	0,002396537	0,002737001	0,002399107	0,002737276	0,00239119
550	benzeno	Água	kg	4,88959E-05	4,61472E-05	4,88932E-05	4,64121E-05	4,88965E-05	4,56297E-05
551	benzeno, 1-metil-4-(1-metiletil)-	Água	kg	2,18519E-10	2,1127E-10	2,18519E-10	2,1127E-10	2,18519E-10	2,1127E-10
552	benzeno, 1,2-dicloro-	Água	kg	4,13672E-08	3,58384E-08	4,13545E-08	3,62394E-08	4,13699E-08	3,50417E-08
553	benzeno, cloro-	Água	kg	8,22994E-07	7,13453E-07	8,22731E-07	7,21734E-07	8,23049E-07	6,97007E-07
554	benzeno, etil-	Água	kg	7,50943E-06	6,8602E-06	7,5087E-06	6,8846E-06	7,50958E-06	6,81179E-06

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
555	benzeno, pentametil-	Água	kg	1,63892E-10	1,58455E-10	1,63892E-10	1,58455E-10	1,63892E-10	1,58455E-10
556	benzenos, alquilação, não especificado	Água	kg	9,72047E-08	9,39797E-08	9,72047E-08	9,39797E-08	9,72047E-08	9,39797E-08
557	ácido benzóico	Água	kg	2,21829E-06	2,1447E-06	2,21829E-06	2,1447E-06	2,21829E-06	2,1447E-06
558	Berílio	Água	kg	6,91246E-05	6,49356E-05	6,91228E-05	6,50328E-05	6,9125E-05	6,47446E-05
559	Biphenyl	Água	kg	6,29359E-09	6,08478E-09	6,29359E-09	6,08478E-09	6,29359E-09	6,08478E-09
560	BOD5, Demanda biológica de oxigênio	Água	kg	0,137895535	0,126437562	0,137888365	0,127076219	0,137897036	0,125189162
561	Borato	Água	kg	6,38984E-09	5,66485E-09	6,38981E-09	5,66569E-09	6,38984E-09	5,66317E-09
562	Boron	Água	kg	0,001394838	0,001236301	0,001394571	0,001245147	0,001394894	0,001218754
563	Bromato	Água	kg	1,45855E-05	1,85867E-05	1,45852E-05	2,09882E-05	1,45856E-05	1,39334E-05
564	Brometo	Água	kg	0,00046889	0,000453301	0,00046889	0,000453301	0,00046889	0,000453301
565	Bromina	Água	kg	0,000249082	0,00022632	0,000249056	0,000227352	0,000249087	0,000224281
566	Buteno	Água	kg	6,20453E-08	5,75346E-08	6,20261E-08	6,01168E-08	6,20494E-08	5,2502E-08
567	butil acetato	Água	kg	1,14873E-07	9,96611E-08	1,14834E-07	1,00882E-07	1,14881E-07	9,72362E-08
568	Butyrolactone	Água	kg	1,95138E-10	1,69309E-10	1,95072E-10	1,71379E-10	1,95152E-10	1,65197E-10
569	Cádmio, ion	Água	kg	6,42557E-05	5,92143E-05	6,42494E-05	5,94256E-05	6,4257E-05	5,87951E-05
570	Cálcio, ion	Água	kg	0,873833048	0,815207351	0,873795923	0,816503628	0,873839933	0,812638372
571	Carbono diSulfeto	Água	kg	1,44446E-09	1,38113E-09	1,44445E-09	1,38159E-09	1,44447E-09	1,38022E-09
572	Carbonato	Água	kg	2,08578E-05	2,34601E-05	2,08553E-05	2,59548E-05	2,08583E-05	1,8623E-05
573	Ácidos carboxílicos, não especificado	Água	kg	0,001311596	0,001195255	0,001311463	0,001199658	0,001311624	0,001186518
574	Cério-141	Água	Bq	0,001094376	0,000958161	0,001094281	0,000959188	0,001094391	0,000956023
575	Cério-144	Água	Bq	0,000333167	0,000291698	0,000333138	0,000292011	0,000333172	0,000291047
576	Césio	Água	kg	3,04256E-07	2,77494E-07	3,04226E-07	2,78511E-07	3,04263E-07	2,75477E-07
577	Césio-134	Água	Bq	0,101896277	0,091113705	0,101892938	0,091390375	0,101896922	0,090572503
578	Césio-136	Água	Bq	0,000194233	0,000170057	0,000194216	0,000170239	0,000194236	0,000169678
579	Césio-137	Água	Bq	85,88701061	76,78831343	85,88421938	77,01930041	85,88754746	76,33646766
580	Cloramina	Água	kg	1,14375E-09	1,01225E-09	1,14374E-09	1,0124E-09	1,14375E-09	1,01196E-09

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
581	Clorato	Água	kg	0,000112803	0,000143223	0,000112801	0,000161575	0,000112804	0,000107664
582	cloro	Água	kg	0,849014389	0,806749235	0,848992734	0,807706011	0,849018743	0,804862157
583	Solventes clorados, não especificado	Água	kg	6,58818E-08	7,27617E-08	6,58771E-08	7,84788E-08	6,58827E-08	6,16775E-08
584	Cloro	Água	kg	7,36934E-06	5,7192E-06	7,30632E-06	5,67097E-06	7,37935E-06	5,71424E-06
585	Ácido cloroacético	Água	kg	3,4929E-06	2,96419E-06	3,4929E-06	2,96432E-06	3,49291E-06	2,96393E-06
586	cloroAcetil cloro	Água	kg	6,78987E-11	5,76311E-11	6,78986E-11	5,76336E-11	6,78987E-11	5,7626E-11
587	cloroformio	Água	kg	1,85228E-09	1,60711E-09	1,85168E-09	1,62619E-09	1,85241E-09	1,5692E-09
588	Ácido clorossulfúrico	Água	kg	6,27476E-10	5,32339E-10	6,27475E-10	5,32361E-10	6,27476E-10	5,32295E-10
589	Cromo	Água	kg	4,60594E-06	4,45312E-06	4,60594E-06	4,45312E-06	4,60594E-06	4,45313E-06
590	Cromo-51	Água	Bq	0,252156812	0,221820856	0,252138054	0,222157667	0,252159977	0,221139097
591	Cromo VI	Água	kg	0,000477631	0,000447185	0,000477616	0,000448044	0,000477634	0,000445499
592	Cromo, ion	Água	kg	2,31892E-06	2,35691E-06	2,31877E-06	2,48533E-06	2,31895E-06	2,10786E-06
593	Cobalto	Água	kg	0,00094057	0,000878513	0,000940535	0,000880173	0,000940577	0,000875243
594	Cobalto-57	Água	Bq	0,006165955	0,005398486	0,006165424	0,005404275	0,006166044	0,005386443
595	Cobalto-58	Água	Bq	1,463511072	1,293806697	1,463420719	1,296366976	1,463526664	1,288705736
596	Cobalto-60	Água	Bq	1,20778713	1,066534016	1,207709062	1,068531057	1,207800522	1,06254338
597	COD, Demanda química de oxigênio	Água	kg	0,188510547	0,177126488	0,188502048	0,177839221	0,188512324	0,175732526
598	Cobre, ion	Água	kg	0,000848511	0,000786746	0,000848452	0,000789659	0,000848523	0,000781012
599	Cumeno	Água	kg	2,4311E-05	2,3539E-05	2,43105E-05	2,37229E-05	2,43111E-05	2,3182E-05
600	Cyanide	Água	kg	7,78411E-05	7,44257E-05	7,78388E-05	7,44953E-05	7,78416E-05	7,42872E-05
601	Decane	Água	kg	6,37434E-08	6,16285E-08	6,37434E-08	6,16285E-08	6,37434E-08	6,16285E-08
602	Detergente, Olho	Água	kg	1,86389E-06	1,80205E-06	1,86389E-06	1,80205E-06	1,86389E-06	1,80205E-06
603	DibenzoFurano	Água	kg	4,15798E-10	4,02002E-10	4,15798E-10	4,02002E-10	4,15798E-10	4,02002E-10
604	dibenzotiofeno	Água	kg	3,56309E-10	3,44487E-10	3,56309E-10	3,44487E-10	3,56309E-10	3,44487E-10
605	dicromato	Água	kg	2,01319E-07	1,76989E-07	2,01313E-07	1,77464E-07	2,0132E-07	1,76059E-07
606	Dietilamina	Água	kg	2,10339E-10	1,83723E-10	2,10337E-10	1,83753E-10	2,10339E-10	1,83665E-10

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
607	Dimetilamina	Água	kg	1,70128E-09	1,44546E-09	1,70127E-09	1,44553E-09	1,70128E-09	1,44533E-09
608	Dipropylamina	Água	kg	1,0542E-10	9,27969E-11	1,0542E-10	9,28146E-11	1,0542E-10	9,27614E-11
609	DOC, carbono orgânico dissolvido	Água	kg	0,085045288	0,077788984	0,085042531	0,077892119	0,085045865	0,077584926
610	Docosane	Água	kg	2,33998E-09	2,26234E-09	2,33998E-09	2,26234E-09	2,33998E-09	2,26234E-09
611	Dodecano	Água	kg	1,20942E-07	1,16929E-07	1,20942E-07	1,16929E-07	1,20942E-07	1,16929E-07
612	Eicosano	Água	kg	3,32984E-08	3,21936E-08	3,32984E-08	3,21936E-08	3,32984E-08	3,21936E-08
613	Etano, 1,2-dicloro-	Água	kg	7,54472E-08	7,01229E-08	7,54438E-08	7,02905E-08	7,54478E-08	6,97929E-08
614	Etanol	Água	kg	2,46781E-07	2,13295E-07	2,46713E-07	2,15458E-07	2,46796E-07	2,09E-07
615	Eteno	Água	kg	9,701E-06	9,41847E-06	9,70088E-06	9,49324E-06	9,70103E-06	9,27341E-06
616	Eteno, cloro-	Água	kg	5,08785E-09	4,56521E-09	5,08688E-09	4,59836E-09	5,08805E-09	4,49949E-09
617	etil acetato	Água	kg	1,87363E-10	1,65047E-10	1,87357E-10	1,65227E-10	1,87364E-10	1,64689E-10
618	etilamina	Água	kg	1,59279E-10	1,38916E-10	1,59278E-10	1,38942E-10	1,59279E-10	1,38865E-10
619	etilene diamina	Água	kg	7,4581E-10	7,12176E-10	7,45803E-10	7,12427E-10	7,45812E-10	7,11678E-10
620	óxido etilene	Água	kg	2,52619E-08	2,17328E-08	2,52568E-08	2,18936E-08	2,52629E-08	2,14135E-08
621	Fluoreno, 1-metil-	Água	kg	2,48871E-10	2,40614E-10	2,48871E-10	2,40614E-10	2,48871E-10	2,40614E-10
622	Fluorenos, alquilação, não especificado	Água	kg	5,63324E-09	5,44634E-09	5,63324E-09	5,44634E-09	5,63324E-09	5,44634E-09
623	Flúor	Água	kg	0,00522703	0,004625179	0,005225777	0,004665707	0,005227293	0,004544736
624	Flúor	Água	kg	2,79111E-09	2,69851E-09	2,79111E-09	2,69851E-09	2,79111E-09	2,69851E-09
625	Ácido fluossilicico	Água	kg	1,31615E-06	1,19742E-06	1,31596E-06	1,20356E-06	1,31619E-06	1,18524E-06
626	Formaldeído	Água	kg	0,000126215	0,000106956	0,000126215	0,000106965	0,000126215	0,000106937
627	Formamide	Água	kg	1,04629E-10	9,46382E-11	1,04628E-10	9,46568E-11	1,04629E-10	9,46015E-11
628	formato	Água	kg	4,90207E-08	4,16331E-08	4,90206E-08	4,16354E-08	4,90207E-08	4,16285E-08
629	Ácido fórmico	Água	kg	3,03721E-11	2,74721E-11	3,0372E-11	2,74774E-11	3,03721E-11	2,74614E-11
630	Glutaraldeído	Água	kg	2,55526E-07	2,25935E-07	2,55493E-07	2,26466E-07	2,55533E-07	2,24854E-07
631	Calor, Resíduo	Água	MJ	28,28016719	25,19694195	28,27928572	25,27600038	28,28034762	25,04241142
632	Hexadecane	Água	kg	1,32008E-07	1,27629E-07	1,32008E-07	1,27629E-07	1,32008E-07	1,27629E-07

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
633	hexanóico	Água	kg	4,59388E-07	4,44147E-07	4,59388E-07	4,44147E-07	4,59388E-07	4,44147E-07
634	Hidrocarbonetos, alifáticos, alcanos, não especificado	Água	kg	3,95542E-05	3,6075E-05	3,95502E-05	3,62072E-05	3,9555E-05	3,58128E-05
635	Hidrocarbonetos, alifáticos, insaturado	Água	kg	3,65159E-06	3,33037E-06	3,65123E-06	3,34257E-06	3,65167E-06	3,30617E-06
636	Hidrocarbonetos, aromático	Água	kg	0,000163813	0,000149325	0,000163796	0,000149871	0,000163816	0,000148242
637	Hidrocarbonetos, não especificado	Água	kg	4,76073E-05	4,38481E-05	4,76017E-05	4,46633E-05	4,76085E-05	4,22601E-05
638	Hidrogênio-3, Trítio	Água	Bq	196490,187	175683,097	196483,8228	176212,2664	196491,412	174648,0082
639	peróxido de hidrogênio	Água	kg	3,53652E-07	7,55858E-06	3,53218E-07	1,13055E-05	3,53726E-07	2,98177E-07
640	Hidrogênio Sulfeto	Água	kg	7,87281E-05	7,40063E-05	7,86943E-05	7,40296E-05	7,87336E-05	7,39081E-05
641	Hidróxido	Água	kg	1,01997E-06	8,85222E-07	1,01963E-06	8,95971E-07	1,02004E-06	8,63873E-07
642	Hipoclorito	Água	kg	9,88664E-06	8,86115E-06	9,88638E-06	8,88984E-06	9,88669E-06	8,80517E-06
643	Iodeto	Água	kg	3,15383E-05	2,87468E-05	3,15352E-05	2,88516E-05	3,15389E-05	2,85392E-05
644	Iodo-131	Água	Bq	0,026442214	0,023514032	0,026440976	0,023573055	0,026442436	0,023397755
645	Iodo-133	Água	Bq	0,001718393	0,001504507	0,001718245	0,00150612	0,001718417	0,00150115
646	Ferro	Água	kg	0,001026422	0,000992368	0,001026422	0,000992368	0,001026422	0,000992368
647	Ferro-59	Água	Bq	0,000472422	0,00041362	0,000472381	0,000414064	0,000472429	0,000412697
648	Ferro, ion	Água	kg	0,109385913	0,101829599	0,10938239	0,102028256	0,109386639	0,101439291
649	Isopropylamina	Água	kg	6,5027E-11	5,54676E-11	6,50268E-11	5,5474E-11	6,50271E-11	5,54547E-11
650	Ácido láctico	Água	kg	8,25805E-11	7,26919E-11	8,258E-11	7,27059E-11	8,25806E-11	7,26642E-11
651	Lantânio-140	Água	Bq	0,002915383	0,00255251	0,002915132	0,002555247	0,002915425	0,002546815
652	Chumbo	Água	kg	0,000115542	0,000106519	0,000115533	0,00010694	0,000115544	0,000105691
653	Chumbo-210	Água	Bq	4,096229211	3,815081561	4,096069115	3,822751455	4,096262611	3,799975412
654	Chumbo-210/kg	Água	kg	2,27211E-16	2,19673E-16	2,27211E-16	2,19673E-16	2,27211E-16	2,19673E-16
655	Lítio, ion	Água	kg	0,000284442	0,000274847	0,000284442	0,000274859	0,000284442	0,000274824
656	m-Xileno	Água	kg	6,64049E-08	6,41913E-08	6,64049E-08	6,41916E-08	6,6405E-08	6,41906E-08
657	Magnésio	Água	kg	0,440705155	0,413065818	0,440694804	0,413694509	0,440707299	0,411831834
658	Manganês	Água	kg	0,037307175	0,034811904	0,037306149	0,034866308	0,037307387	0,03470492

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
659	Manganês-54	Água	Bq	0,089342594	0,078996768	0,089337113	0,079154453	0,089343541	0,078682735
660	Mercurio	Água	kg	1,24125E-05	1,16982E-05	1,24124E-05	1,17137E-05	1,24125E-05	1,1668E-05
661	Íons metálicos, não especificado	Água	kg	9,04488E-12	8,7448E-12	9,04488E-12	8,7448E-12	9,04488E-12	8,7448E-12
662	Metano, dicloro-, HCC-30	Água	kg	4,34823E-06	3,9133E-06	4,34775E-06	3,92578E-06	4,34833E-06	3,88839E-06
663	Metano, monocloro-, R-40	Água	kg	8,8018E-11	8,50978E-11	8,8018E-11	8,50978E-11	8,8018E-11	8,50978E-11
664	Metanol	Água	kg	4,35125E-05	3,69543E-05	4,35115E-05	3,69668E-05	4,35127E-05	3,69287E-05
665	Metil acetato	Água	kg	2,02329E-11	1,71647E-11	2,02329E-11	1,71655E-11	2,02329E-11	1,71632E-11
666	Metil Acrilato	Água	kg	3,00533E-07	2,60721E-07	3,00431E-07	2,63919E-07	3,00554E-07	2,54369E-07
667	Metil amina	Água	kg	2,39222E-10	2,04412E-10	2,39198E-10	2,05168E-10	2,39227E-10	2,02911E-10
668	Metil etil cetona	Água	kg	1,7603E-10	1,7019E-10	1,7603E-10	1,7019E-10	1,7603E-10	1,7019E-10
669	Metil formato	Água	kg	2,84212E-11	2,48264E-11	2,84131E-11	2,50807E-11	2,84229E-11	2,43212E-11
670	Molibdênio	Água	kg	0,000234154	0,000218709	0,000234146	0,000219118	0,000234156	0,000217904
671	Molibdênio-99	Água	Bq	0,001005181	0,000880067	0,001005094	0,000881011	0,001005195	0,000878104
672	n-Hexacosano	Água	kg	1,45985E-09	1,41142E-09	1,45985E-09	1,41142E-09	1,45985E-09	1,41142E-09
673	Naftaleno	Água	kg	3,98328E-08	3,85112E-08	3,98328E-08	3,85112E-08	3,98328E-08	3,85112E-08
674	Naftaleno, 2-metil-	Água	kg	3,4637E-08	3,34878E-08	3,4637E-08	3,34878E-08	3,4637E-08	3,34878E-08
675	Naftalenos, alquilação, não especificado	Água	kg	1,59284E-09	1,53999E-09	1,59284E-09	1,53999E-09	1,59284E-09	1,53999E-09
676	Níquel	Água	kg	5,7502E-07	5,55942E-07	5,7502E-07	5,55942E-07	5,7502E-07	5,55942E-07
677	Níquel, ion	Água	kg	0,004065317	0,003815816	0,004065227	0,003821231	0,004065335	0,003805188
678	Nióbio-95	Água	Bq	0,010989079	0,009776256	0,010988563	0,009801406	0,010989172	0,009726731
679	Nitrato	Água	kg	0,044760109	0,041906237	0,044759603	0,041958552	0,044760212	0,041804101
680	Nitrato compostos	Água	kg	2,61307E-12	2,52637E-12	2,61307E-12	2,52637E-12	2,61307E-12	2,52637E-12
681	Ácido nítrico	Água	kg	5,86122E-09	5,66676E-09	5,86122E-09	5,66676E-09	5,86122E-09	5,66676E-09
682	Nitrite	Água	kg	2,56006E-06	2,40463E-06	2,55988E-06	2,45024E-06	2,56009E-06	2,31597E-06
683	Nitrobenzeno	Água	kg	1,04902E-09	9,16399E-10	1,04902E-09	9,16547E-10	1,04902E-09	9,16103E-10
684	Nitrogênio	Água	kg	0,000654921	0,000555908	0,000654406	0,000555942	0,000655029	0,000555053
685	Nitrogênio, orgânico ligado	Água	kg	8,73115E-05	7,86237E-05	8,72976E-05	7,90084E-05	8,73144E-05	7,78569E-05

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
686	Nitrogênio, total	Água	kg	1,81336E-07	1,7532E-07	1,81336E-07	1,7532E-07	1,81336E-07	1,7532E-07
687	o-Cresol	Água	kg	6,2907E-08	6,08199E-08	6,2907E-08	6,08199E-08	6,2907E-08	6,08199E-08
688	o-Xileno	Água	kg	3,3849E-11	2,94877E-11	3,38411E-11	2,97298E-11	3,38507E-11	2,90064E-11
689	Octadecano	Água	kg	3,26125E-08	3,15305E-08	3,26125E-08	3,15305E-08	3,26125E-08	3,15305E-08
690	Olhos, não especificado	Água	kg	0,019910232	0,018170331	0,019908173	0,018238455	0,019910663	0,018035179
691	p-Cresol	Água	kg	6,78717E-08	6,56199E-08	6,78717E-08	6,56199E-08	6,78717E-08	6,56199E-08
692	PAH, policíclicos aromáticos Hidrocarbonetos	Água	kg	2,31151E-06	2,12819E-06	2,31132E-06	2,13456E-06	2,31155E-06	2,11556E-06
693	Fenantreno	Água	kg	5,82741E-10	5,63407E-10	5,82741E-10	5,63407E-10	5,82741E-10	5,63407E-10
694	Fenantrenos, alquilação, não especificado	Água	kg	6,60456E-10	6,38544E-10	6,60456E-10	6,38544E-10	6,60456E-10	6,38544E-10
695	Fenol	Água	kg	4,27883E-05	3,83466E-05	4,27853E-05	3,84981E-05	4,27889E-05	3,80485E-05
696	Fenol, 2,4-dimetil-	Água	kg	6,12521E-08	5,92199E-08	6,12521E-08	5,92199E-08	6,12521E-08	5,922E-08
697	Fenóis, não especificado	Água	kg	2,37468E-07	2,2959E-07	2,37468E-07	2,2959E-07	2,37468E-07	2,2959E-07
698	Fosfato	Água	kg	0,144342119	0,13558295	0,144339474	0,135767678	0,144342665	0,135220976
699	Fósforo	Água	kg	6,58474E-05	6,17733E-05	6,58471E-05	6,18002E-05	6,58475E-05	6,17208E-05
700	Polônio-210	Água	Bq	5,722212402	5,34776484	5,721982419	5,357928112	5,722260453	5,327720538
701	Potássio-40	Água	Bq	1,634416857	1,482861419	1,634366928	1,487102009	1,634427123	1,474568559
702	Potássio, ion	Água	kg	0,290119718	0,27254377	0,290113739	0,272914249	0,290120956	0,271816784
703	Propanal	Água	kg	8,28132E-11	7,49061E-11	8,28128E-11	7,49207E-11	8,28133E-11	7,4877E-11
704	propeno	Água	kg	1,00869E-05	9,66991E-06	1,00866E-05	9,75161E-06	1,0087E-05	9,51103E-06
705	Ácido propiônico	Água	kg	2,06574E-10	1,75399E-10	2,06574E-10	1,7541E-10	2,06574E-10	1,75377E-10
706	Propylamina	Água	kg	3,31331E-11	2,99694E-11	3,31329E-11	2,99752E-11	3,31331E-11	2,99577E-11
707	Óxido de propileno	Água	kg	9,6537E-07	8,4169E-07	9,65248E-07	8,45587E-07	9,65395E-07	8,33953E-07
708	Protactínio-234	Água	Bq	1,18909211	1,062142622	1,189050336	1,065236088	1,189100014	1,056084478
709	Espécies radioativas, alpha initters	Água	Bq	0,008916445	0,008440306	0,008916039	0,008454728	0,00891653	0,008411739
710	Espécies radioativas, Nuclideos, não especificado	Água	Bq	457,2869308	409,6424937	457,2725032	410,8467216	457,2897094	407,2870339

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
711	Rádio-224	Água	Bq	15,21274839	13,87464904	15,21122938	13,92549219	15,2130664	13,77380954
712	Rádio-226	Água	Bq	768,0545127	686,6875044	768,0259311	688,7001815	768,059973	682,7438048
713	Rádio-226/kg	Água	kg	7,90484E-14	7,64258E-14	7,90484E-14	7,64258E-14	7,90484E-14	7,64258E-14
714	Rádio-228	Água	Bq	30,42850145	27,75190226	30,42546279	27,85361062	30,42913762	27,55017951
715	Rádio-228/kg	Água	kg	4,04344E-16	3,90928E-16	4,04344E-16	3,90928E-16	4,04344E-16	3,90928E-16
716	Rubídio	Água	kg	3,04256E-06	2,77494E-06	3,04226E-06	2,78511E-06	3,04263E-06	2,75477E-06
717	Rutênio-103	Água	Bq	0,000212098	0,000185699	0,00021208	0,000185898	0,000212101	0,000185284
718	Escândio	Água	kg	9,50613E-05	8,86397E-05	9,50582E-05	8,88045E-05	9,50619E-05	8,83155E-05
719	Selênio	Água	kg	0,000151796	0,000141904	0,00015179	0,000142178	0,000151797	0,000141363
720	Silício	Água	kg	0,592904721	0,546899023	0,592876288	0,548271795	0,592910636	0,544195625
721	Prata	Água	kg	4,59225E-06	4,43989E-06	4,59225E-06	4,43989E-06	4,59225E-06	4,43989E-06
722	Prata-110	Água	Bq	1,146563241	1,012045883	1,146488105	1,01390151	1,146576099	1,008333776
723	Prata, ion	Água	kg	2,72918E-06	2,46938E-06	2,72881E-06	2,48227E-06	2,72926E-06	2,44383E-06
724	Sódio-24	Água	Bq	0,007605235	0,006658626	0,007604579	0,006665767	0,007605344	0,006643771
725	Sódio formato	Água	kg	5,86601E-09	5,46839E-09	5,86552E-09	5,48832E-09	5,86612E-09	5,42901E-09
726	Sódio, ion	Água	kg	0,571873065	0,536549699	0,571857581	0,537354702	0,571876261	0,534966225
727	sólidos, inorgânico	Água	kg	0,038360548	0,035648104	0,038359969	0,035729722	0,038360666	0,035489078
728	Solvente sólido	Água	kg	0,106144713	0,102512738	0,106144588	0,102518411	0,106144738	0,102501556
729	Estrôncio	Água	kg	0,015301048	0,014367499	0,01530076	0,014387085	0,015301107	0,01432911
730	Estrôncio-89	Água	Bq	0,02282637	0,020108393	0,022824745	0,020141608	0,022826646	0,020041511
731	Estrôncio-90	Água	Bq	599,0148598	537,4109782	598,9999406	539,1261798	599,0178909	534,0648321
732	Sulfato	Água	kg	3,47694272	3,261793144	3,476870286	3,266629716	3,47695763	3,252310999
733	Sulfeto	Água	kg	1,29615E-06	1,17332E-06	1,2961E-06	1,17691E-06	1,29617E-06	1,16627E-06
734	Sulfito	Água	kg	2,68588E-05	2,4074E-05	2,68581E-05	2,41519E-05	2,6859E-05	2,39219E-05
735	Enxofre	Água	kg	6,12796E-05	5,58538E-05	6,12737E-05	5,60426E-05	6,12808E-05	5,5479E-05
736	Sólidos em suspensão, não especificado	Água	kg	0,03411279	0,032323712	0,034111765	0,032346525	0,034113004	0,03227794
737	t-butil metil éter	Água	kg	6,28616E-07	5,70586E-07	6,28551E-07	5,7276E-07	6,28629E-07	5,66275E-07

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
738	t-butilamina	Água	kg	3,81706E-10	3,24181E-10	3,81705E-10	3,242E-10	3,81706E-10	3,24145E-10
739	Tar	Água	kg	1,47685E-13	1,42785E-13	1,47685E-13	1,42785E-13	1,47685E-13	1,42785E-13
740	Tecnécio-99m	Água	Bq	0,023161695	0,02028026	0,023159703	0,020302137	0,023162026	0,020234773
741	Telúrio-123m	Água	Bq	0,013412796	0,0119856	0,013412337	0,012021259	0,013412883	0,011915803
742	Telúrio-132	Água	Bq	5,82027E-05	5,09582E-05	5,81977E-05	5,10129E-05	5,82035E-05	5,08445E-05
743	Tetradecano	Água	kg	5,3004E-08	5,12454E-08	5,3004E-08	5,12454E-08	5,3004E-08	5,12454E-08
744	Tálio	Água	kg	6,00391E-06	5,51296E-06	6,00329E-06	5,53389E-06	6,00403E-06	5,47148E-06
745	Tório-228	Água	Bq	60,88971302	55,53501807	60,88363543	55,7384516	60,89098541	55,13153954
746	Tório-230	Água	Bq	162,240091	144,919012	162,2343913	145,3410853	162,2411695	144,0924374
747	Tório-232	Água	Bq	0,235053461	0,210796524	0,23504715	0,211480199	0,235054746	0,2094622
748	Tório-234	Água	Bq	1,189222993	1,062259318	1,189181214	1,0653531	1,189230898	1,056200556
749	Estanho	Água	kg	4,61651E-07	4,46334E-07	4,61651E-07	4,46334E-07	4,61651E-07	4,46334E-07
750	Estanho, ion	Água	kg	3,34334E-05	2,99366E-05	3,34275E-05	3,01608E-05	3,34346E-05	2,94932E-05
751	Titânio, ion	Água	kg	0,001476149	0,001345443	0,001476058	0,001350051	0,001476168	0,001336374
752	TOC, Total Orgânico Carbono	Água	kg	0,0867447	0,079235559	0,086741939	0,07934149	0,086745277	0,079026083
753	Tolueno	Água	kg	4,12756E-05	3,78338E-05	4,12719E-05	3,79624E-05	4,12764E-05	3,75788E-05
754	Tolueno, 2-cloro-	Água	kg	2,09799E-10	1,82087E-10	2,09798E-10	1,82112E-10	2,09799E-10	1,82038E-10
755	TributilEstanho compostos	Água	kg	5,05333E-06	4,85846E-06	5,05329E-06	4,85983E-06	5,05334E-06	4,85576E-06
756	Trietilene glicol	Água	kg	4,24891E-06	3,65914E-06	4,24831E-06	3,66214E-06	4,24904E-06	3,6524E-06
757	Trimetilamina	Água	kg	3,58056E-11	3,0376E-11	3,58056E-11	3,03773E-11	3,58056E-11	3,03733E-11
758	Tungsten	Água	kg	4,28418E-05	3,8162E-05	4,28335E-05	3,8427E-05	4,28435E-05	3,76358E-05
759	Urânio-234	Água	Bq	1,426888651	1,274552064	1,426838522	1,278264224	1,426898136	1,267282292
760	Urânio-235	Água	Bq	2,354381402	2,1030228	2,354298689	2,1091478	2,354397053	2,0910278
761	Urânio-238	Água	Bq	5,668590035	5,143445937	5,668382429	5,156652296	5,6686309	5,11753866
762	Urânio alpha	Água	Bq	68,50608225	61,19222131	68,50367561	61,37043531	68,50653761	60,84321285
763	Uréia	Água	kg	1,14088E-10	1,02132E-10	1,14088E-10	1,0215E-10	1,14088E-10	1,02097E-10
764	Vanádio	Água	kg	5,93802E-08	5,74101E-08	5,93802E-08	5,74101E-08	5,93802E-08	5,74101E-08

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
765	Vanádio, ion	Água	kg	0,000277141	0,000256909	0,00027713	0,000257463	0,000277143	0,000255817
766	VOC, compostos orgânicos voláteis, origem não especificada	Água	kg	0,000109445	9,97636E-05	0,000109435	0,000100127	0,000109448	9,90425E-05
767	água residual/m3	Água	m3	0,1284	0,12414	0,1284	0,12414	0,1284	0,12414
768	Xileno	Água	kg	3,28503E-05	3,00582E-05	3,28472E-05	3,01624E-05	3,2851E-05	2,98518E-05
769	Ítrio	Água	kg	1,47369E-08	1,42479E-08	1,47369E-08	1,42479E-08	1,47369E-08	1,42479E-08
770	Zinco	Água	kg	4,21978E-06	4,07978E-06	4,21978E-06	4,07978E-06	4,21978E-06	4,07978E-06
771	Zinco-65	Água	Bq	0,103113001	0,090278598	0,103104115	0,090375404	0,103114476	0,090077194
772	Zinco, ion	Água	kg	0,006582166	0,006118524	0,006581782	0,006133078	0,006582245	0,006089737
773	Zircônio-95	Água	Bq	0,001194046	0,001045425	0,001193943	0,001046546	0,001194063	0,001043093
774	2,4-D	Solo	kg	2,81898E-09	2,54208E-09	2,81872E-09	2,54727E-09	2,81903E-09	2,53165E-09
775	Aclonifen	Solo	kg	3,15053E-07	2,67271E-07	3,15052E-07	2,67282E-07	3,15053E-07	2,6725E-07
776	Aldrin	Solo	kg	3,4877E-10	3,02572E-10	3,48652E-10	3,06283E-10	3,48795E-10	2,95202E-10
777	Alumínio	Solo	kg	0,002001549	0,001703642	0,00200153	0,00170423	0,002001553	0,001702471
778	Antimônio	Solo	kg	5,45712E-11	4,82587E-11	5,45578E-11	4,866E-11	5,4574E-11	4,74607E-11
779	Arsênio	Solo	kg	6,57203E-07	5,60043E-07	6,57195E-07	5,60281E-07	6,57205E-07	5,59568E-07
780	Atrazina	Solo	kg	9,1497E-11	7,93773E-11	9,14661E-11	8,03507E-11	9,15035E-11	7,74437E-11
781	Bário	Solo	kg	8,58647E-05	7,72768E-05	8,58553E-05	7,75233E-05	8,58666E-05	7,67849E-05
782	Benomyl	Solo	kg	1,78267E-11	1,60806E-11	1,78251E-11	1,61121E-11	1,7827E-11	1,60171E-11
783	Bentazone	Solo	kg	1,60791E-07	1,36405E-07	1,60791E-07	1,36411E-07	1,60791E-07	1,36394E-07
784	Boron	Solo	kg	3,08473E-06	2,74772E-06	3,0845E-06	2,75587E-06	3,08478E-06	2,73158E-06
785	Cádmio	Solo	kg	1,26662E-06	1,07238E-06	1,26662E-06	1,07247E-06	1,26662E-06	1,07222E-06
786	Cálcio	Solo	kg	0,025540007	0,021655872	0,025539926	0,021658494	0,025540024	0,021650667
787	Carbetamida	Solo	kg	5,72313E-08	4,85879E-08	5,72313E-08	4,859E-08	5,72313E-08	4,85838E-08
788	CarboFurano	Solo	kg	9,77334E-09	8,81605E-09	9,77247E-09	8,83332E-09	9,77353E-09	8,78125E-09
789	Carbono	Solo	kg	0,028754245	0,024361553	0,028754188	0,0243638	0,028754257	0,024357112
790	Cloreto	Solo	kg	0,005332339	0,004638221	0,005332126	0,004644876	0,005332384	0,004625

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
791	Clorotalonil	Solo	kg	3,18896E-07	3,06449E-07	3,18893E-07	3,0655E-07	3,18896E-07	3,06249E-07
792	Cromo	Solo	kg	1,81094E-05	1,53807E-05	1,81093E-05	1,53838E-05	1,81095E-05	1,53746E-05
793	Cromo VI	Solo	kg	7,71913E-06	6,78605E-06	7,71889E-06	6,80422E-06	7,71918E-06	6,75047E-06
794	Cobalto	Solo	kg	1,57553E-06	1,33373E-06	1,57553E-06	1,3338E-06	1,57553E-06	1,33361E-06
795	Cobre	Solo	kg	2,03149E-05	1,7389E-05	2,03148E-05	1,74034E-05	2,0315E-05	1,73607E-05
796	Cipermetrina	Solo	kg	2,63283E-09	2,30951E-09	2,63271E-09	2,31199E-09	2,63286E-09	2,3045E-09
797	Fenpiclonil	Solo	kg	2,34149E-08	2,12774E-08	2,34148E-08	2,12818E-08	2,3415E-08	2,12688E-08
798	Flúor	Solo	kg	1,38098E-05	1,23196E-05	1,38086E-05	1,23566E-05	1,381E-05	1,22464E-05
799	Glifosato	Solo	kg	2,95154E-06	2,73234E-06	2,95144E-06	2,73576E-06	2,95155E-06	2,72556E-06
800	Calor, resíduo	Solo	MJ	1,058780049	0,922890632	1,058757884	0,924703605	1,05878438	0,919343819
801	Ferro	Solo	kg	0,007853337	0,007102183	0,007853134	0,007110009	0,007853379	0,007086709
802	Chumbo	Solo	kg	5,93027E-06	5,03268E-06	5,93026E-06	5,03339E-06	5,93027E-06	5,03128E-06
803	Linurão	Solo	kg	2,42733E-06	2,0592E-06	2,42733E-06	2,05928E-06	2,42733E-06	2,05903E-06
804	Magnésio	Solo	kg	0,002946465	0,002501474	0,002946449	0,002501942	0,002946468	0,002500544
805	Mancozeb	Solo	kg	4,14181E-07	3,98015E-07	4,14177E-07	3,98146E-07	4,14182E-07	3,97755E-07
806	Manganês	Solo	kg	0,001756824	0,00148743	0,001756823	0,001487482	0,001756824	0,001487329
807	Mercúrio	Solo	kg	1,1002E-08	9,34814E-09	1,1002E-08	9,35435E-09	1,1002E-08	9,33609E-09
808	Metaldeído	Solo	kg	1,08579E-08	9,22722E-09	1,08579E-08	9,22763E-09	1,08579E-08	9,2264E-09
809	Metacloro	Solo	kg	1,7568E-05	1,49036E-05	1,75679E-05	1,49042E-05	1,7568E-05	1,49024E-05
810	Metribuzin	Solo	kg	1,45835E-08	1,40143E-08	1,45834E-08	1,40189E-08	1,45835E-08	1,40051E-08
811	Molibdênio	Solo	kg	3,24096E-07	2,74408E-07	3,24096E-07	2,74434E-07	3,24096E-07	2,74357E-07
812	Napropamida	Solo	kg	1,92101E-08	1,6325E-08	1,921E-08	1,63258E-08	1,92101E-08	1,63236E-08
813	Níquel	Solo	kg	4,93681E-06	4,18637E-06	4,9368E-06	4,18701E-06	4,93682E-06	4,1851E-06
814	Olhos, biogênico	Solo	kg	0,002069538	0,001755234	0,002069536	0,001755314	0,002069539	0,001755077
815	Olhos, não especificado	Solo	kg	0,019689433	0,017925146	0,019687291	0,017996933	0,019689882	0,017782772
816	Orbencarb	Solo	kg	7,87543E-08	7,56805E-08	7,87536E-08	7,57054E-08	7,87545E-08	7,56311E-08
817	Fósforo	Solo	kg	0,000866055	0,000733529	0,000866054	0,000733569	0,000866055	0,00073345

Nº	Substância	Compartimento	Unidade	CP II-Z 30	CP IV 30	CP V-ARI 30	CP II-Z 50	CP IV 50	CP V-ARI 50
818	Pirimicarbe	Solo	kg	1,52095E-08	1,29028E-08	1,52095E-08	1,29034E-08	1,52096E-08	1,29018E-08
819	Potássio	Solo	kg	0,004828547	0,004090325	0,004828539	0,004090581	0,004828548	0,004089817
820	Silício	Solo	kg	0,007246888	0,006135514	0,007246885	0,006135818	0,007246889	0,006134919
821	Sódio	Solo	kg	0,00036053	0,000323906	0,000360489	0,000324991	0,000360538	0,000321742
822	Estrôncio	Solo	kg	1,72821E-06	1,55544E-06	1,72802E-06	1,56038E-06	1,72825E-06	1,54559E-06
823	Enxofre	Solo	kg	0,000909174	0,000775337	0,000909163	0,000775713	0,000909177	0,00077459
824	Ácido sulfúrico	Solo	kg	1,75806E-11	1,52517E-11	1,75747E-11	1,54388E-11	1,75819E-11	1,48801E-11
825	Tebutam	Solo	kg	4,55198E-08	3,86835E-08	4,55198E-08	3,86852E-08	4,55198E-08	3,868E-08
826	Teflubenzuron	Solo	kg	9,72249E-10	9,34301E-10	9,72241E-10	9,3461E-10	9,72251E-10	9,33691E-10
827	Thiram	Solo	kg	3,1627E-11	2,85292E-11	3,16242E-11	2,8585E-11	3,16276E-11	2,84166E-11
828	Estanho	Solo	kg	1,65102E-09	1,72751E-09	1,65096E-09	1,81387E-09	1,65103E-09	1,56011E-09
829	Titânio	Solo	kg	0,000120744	0,000102203	0,000120744	0,000102205	0,000120744	0,000102199
830	Vanádio	Solo	kg	3,4561E-06	2,92541E-06	3,4561E-06	2,92547E-06	3,4561E-06	2,92529E-06
831	Zinco	Solo	kg	0,000161658	0,000137302	0,000161658	0,000137328	0,000161658	0,00013725

**ANEXO A – COMPOSIÇÃO DE ENCARGOS SOCIAIS
SOBRE PREÇO DA MÃO-DE-OBRA HORISTA DO
ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.**

Item	Descrição	%
Grupo A		
A1	INSS	0,00
A2	SESI	1,50
A3	SENAI	1,00
A4	INCRA	0,20
A5	SEBRAE	0,60
A6	Salário-Educação	2,50
A7	Seguro contra acidentes de trabalho	3,00
A8	FGTS	8,00
A	Total dos Encargos Sociais Básicos	16,80
Grupo B		
B1	Descanso semanal remunerado	18,07
B2	Feridos	4,18
B3	Férias	15,09
B4	Aviso prévio trabalhado	1,64
B5	Seguro acidente	0,06
B6	Acidente de trabalho	1,41
B7	Aviso prévio indenizado	2,67
B8	13º Salário	11,32
B9	Licença Paternidade	0,11
B10	Adicional Noturno	2,20
B	Total dos Encargos Sociais que recebem incidências do grupo A	56,75
Grupo C		
C1	Aviso prévio indenizado	28,87
C2	Indenização compensada, Demissão imotivada	5,01
C3	Contribuição social (LC 110/2011)	1,25
C	Total de Encargos Sociais que não recebem incidências do grupo A	35,13
Grupo D		
D1	Reincidência de Grupo "A" sobre Grupo "B"	9,53
D	Total dos Encargos Sociais Complementares	9,53
Grupo E		
E1	Equipamentos de segurança do trabalho	6,27
E2	Auxílio educação	1,51
E3	Vale-transporte	18,23
E	Total das Taxas de incidências e reincidências	26,01
Total (A+B+C+D+E)		144,22

Quadro 22 – Composição de encargos sociais da Secretaria de Obras Públicas do Estado do Rio Grande do Sul