



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PPGEC – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL**

**INVENTÁRIO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA ETAPA DE
CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS
MULTIFAMILIARES NA REGIÃO DA GRANDE
FLORIANÓPOLIS (SC)**

EDUARDO SILVA E SILVA

**FLORIANÓPOLIS - SC
2014**

EDUARDO SILVA E SILVA

**INVENTÁRIO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA ETAPA DE
CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS
MULTIFAMILIARES NA REGIÃO DA GRANDE
FLORIANÓPOLIS (SC)**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, PPGEC, da Universidade Federal de Santa Catarina, para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª Janaíde Cavalcante Rocha

Florianópolis
2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

SILVA, Eduardo Silva e

Inventário de Gases de Efeito Estufa na Etapa de Construção de Edificações Residenciais Multifamiliares na Região da Grande Florianópolis (SC) / Eduardo Silva e Silva; orientadora, Janaíde Cavalcante Rocha – Florianópolis, SC; 2014. 229 pg.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Emissões de CO₂. 3. Supraestrutura. 4. Alvenaria e Revestimento de Argamassa. I. Rocha, Janaíde Cavalcante. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

**INVENTÁRIO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA ETAPA DE
CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS
MULTIFAMILIARES NA REGIÃO DA GRANDE
FLORIANÓPOLIS (SC)**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Prof. Roberto Caldas de Andrade Pinto, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Janaíde Cavalcante Rocha
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Geraldo Cechella Isaia
Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Antônio Edésio Jungles
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^a. Dr^a. Fernanda Fernandes Marchiori
Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis,.....

Dedico este trabalho ao meu pai, Prof. Msc.
Francisco Carlos Silva.

AGRADECIMENTOS

A professora Janaíde Cavalcante Rocha, por acreditar e orientar este trabalho, sempre com plena dedicação. Muito obrigado.

Aos professores Dr. Antônio Edésio Jungles e Dr. Malik Cheriaf pelos ensinamentos e por terem participado no processo de qualificação deste trabalho.

Aos professores Dr. Geraldo Cechella Isaia, Dr^a. Fernanda Fernandes Marchiori e, novamente, Dr. Antônio Edésio Jungles, por aceitarem o convite para compor a banca examinadora deste trabalho.

Aos importantes amigos e colegas, membros do mesmo programa de pós-graduação, como: Diane Guzzi, Roberson Faissal, Beatriz de Deus, Carlos Hermann, Ailton Freire e Roberta Ribeiro.

Ao Joelcio Stocco pela colaboração na pesquisa sobre agregados, na disciplina de Agregados Reciclados na Construção Civil.

Aos técnicos de construtoras que disponibilizaram dados técnicos relativos às obras avaliadas, nesta pesquisa, bem como, a participação na dinâmica dos canteiros de obras.

A UFSC, PPGEC (Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) e ao CNPq pelo incentivo, pela bolsa de estudos e amparo a pesquisa.

Aos familiares.

SILVA, Eduardo Silva e. *Inventário de Gases de Efeito Estufa na Etapa de Construção de Edificações Residenciais Multifamiliares na Região da Grande Florianópolis (SC)*. Florianópolis, 2014. 227p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

RESUMO

Neste trabalho são descritos resultados de uma pesquisa de mestrado realizada na etapa de construção de edifícios cujo objetivo foi desenvolver um inventário de gases de efeito estufa sobre a construção de edifícios multifamiliares, especificamente sobre as fases de supraestrutura, alvenaria e revestimento de argamassa, em seis obras localizadas na Região da Grande Florianópolis, Santa Catarina. A dissertação visa contabilizar a quantidade de dióxido de carbono (CO₂), bem como contribuir para a consolidação de um referencial à aplicação de inventários de gases de efeito estufa como parte integrante de sistemas de gestão ambiental, na etapa da construção. Dentre as diferentes metodologias existentes para a realização de inventários de gases de efeito estufa corporativos, o GHG Protocol, foi escolhido por ser atualmente a ferramenta mais utilizada mundialmente pelas empresas e governos para avaliar, quantificar e gerenciar suas emissões. Em média as emissões na fase de supraestrutura, de concreto armado, correspondem a 123,54 quilos de CO₂ por metro quadrado construído, a fase de alvenaria igual a 19,51 quilos de CO₂ por metro quadrado construído e a fase de revestimento de argamassa interna igual a 16,15 quilos de CO₂ por metro quadrado construído. Assim, a pesquisa visa contribuir com o aperfeiçoamento de estratégias mais sustentáveis para o setor.

Palavras-chave: Emissões de CO₂; Supraestrutura; Alvenaria e Revestimento de Argamassa.

ABSTRACT

This study we describe results of a research carried out in the construction stage of buildings whose goal was to develop an inventory of greenhouse gases on the construction of multifamily buildings, specifically about the phases of the superstructure, masonry and mortar lining in six construction sites located in the region of Florianópolis, Santa Catarina. The dissertation aims at to account for the amount of carbon dioxide (CO₂), as well as contribute to the consolidation of a reference to the application of inventories of greenhouse gas emissions as part of environmental management systems in the construction stage part. Among the various methodologies for conducting inventories of corporate greenhouse gas emissions, the GHG Protocol, was chosen to be the most currently used worldwide by companies and governments tool to assess, quantify and manage their emissions. On average emissions in phase superstructure of reinforced concrete, corresponding to 123,54 pounds CO₂ per square meter built masonry phase 19,51 kg of CO₂ per square meter built and the step of coating mortar internal equal to 16,15 pounds CO₂ per square meter constructed. Thus, the research aims to contribute to developing more sustainable strategies for the sector.

Keywords: CO₂ emissions; Superstructure; Masonry and Mortar Coating.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil.....	34
Figura 2. Emissão por subsetores da etapa da construção no ano de 2002.....	37
Figura 3. Delimitação Espacial: Brasil (País)--- Santa Catarina (Estado)--- Grande Florianópolis (Mesorregião)---- Florianópolis (Porção Continental), São José e Palhoça (Municípios)--- Obra A (Florianópolis), Obra D (São José) e Obras B, C, E e F (Palhoça).....	41
Figura 4. Delimitação geral das operações presentes no serviço de concretagem.....	45
Figura 5. Delimitação geral das operações presentes no serviço de fôrmas.....	46
Figura 6. Emissão de GEE Global por Ações Antropogênicas.....	51
Figura 7. Emissão de GEE Global por Ações Antropogênicas em Diferentes Setores.....	52
Figura 8. Cenário de Emissões de GEE no período de 2000-2100 anos.....	53
Figura 9. Potencial de redução de CO ₂ eq por setores até 2030.....	55
Figura 10. Parte da Planilha Setor de Processos Industriais – IPCC Inventory Software version 2.12.....	59
Figura 11. Fragmento da Planilha Inicial do UNFCCC, version 1.2.3.....	60
Figura 12. Ferramenta BEES.....	62
Figura 13. Aba Inicial da Ferramenta – GHG Protocol versão nacional.....	66
Figura 14. Representação da Linha de Redução Líquida de Emissões.....	82
Figura 15. Sistema Geral de Avaliação e Sub-sistemas.....	85
Figura 16. Sub-sistema Estrutura e suas derivações de consumo de materiais e serviço.....	88
Figura 17. Sub-sistema Alvenaria e suas derivações de consumo de materiais.....	88
Figura 18. Sub-sistema Reboco e suas derivações de consumo de materiais e serviço.....	88
Figura 19. Sub-sistema Estrutura e suas derivações de consumo de energia elétrica (kWh).....	94
Figura 20. Sub-sistema Alvenaria e suas derivações de consumo de energia elétrica (kWh).....	94

Figura 21. Sub-sistema Reboco e suas derivações de consumo de energia elétrica (kWh).....	94
Figura 22. Sub-sistema Fornecedor e suas derivações.....	98
Figura 23. Resumo do método do sub-sistema emissões de CO ₂	100
Figura 24. Demonstração do Menu da Ferramenta de Contabilização de Gases de Efeito Estufa.....	106
Figura 25. Cenário Obra A.....	110
Figura 26. Planta Baixa sem escala da Obra A.....	111
Figura 27. Cenário Obra B.....	111
Figura 28. Planta Baixa sem escala da Obra B.....	112
Figura 29. Cenário Obra C.....	112
Figura 30. Planta Baixa sem escala da Obra C.....	113
Figura 31. Cenário Obra D.....	113
Figura 32. Planta Baixa sem escala da Obra D.....	114
Figura 33. Cenário Obra E.....	114
Figura 34. Planta Baixa sem escala da Obra E.....	115
Figura 35. Cenário Obra F.....	115
Figura 36. Planta Baixa sem escala da Obra F.....	116
Figura 37. Área de Influência das Obras.....	116
Figura 38. Concretagem da laje, vigas e pilares do Pavto Tipo da Obra “F”.....	125
Figura 39. Setor de Carpintaria – Obra C.....	127
Figura 40. Setor de Carpintaria – Serra de Bancada – Obra D.....	127
Figura 41. Setor de Carpintaria – Medição de espessura da tábua de pinus – Obra E.....	128
Figura 42. Fôrmas composta por tábuas e sarrafos de pinus – Obra F.....	128
Figura 43. Planta representativa do processo de produção da madeirite resinado.....	129
Figura 44. (A) Setor de Armação – (B) Máquina Policorte – Obra C.....	130
Figura 45. (A) Escora de eucalipto - Obra F – (B) Escora Metálica – Obra C.....	131
Figura 46. Blocos de EPS estocados – Obra C.....	131
Figura 47. Laje nervurada – Obra B.....	132
Figura 48. Laje pré-fabricada e tabelas – Obra D.....	132
Figura 49. Elevador de Cargas – Obra D.....	133

Figura 50. (A) Guincho de Coluna - Obra B – (B) Detalhe do motor do guincho de coluna – Obra C.....	134
Figura 51. (A) Esquadro de destacado por giz branco – (B) Medição de 1m linear na horizontal.....	136
Figura 52. (A) Quadro de Traços fixado na central de produção de argamassas, com destaque para o traço da argamassa de assentamento e das dimensões da padiola – (B) Padiola 33x33x42cm.....	137
Figura 53. (A) Carrinho com um volume estimado de 0,086m ³ – (B) Caixa volume de 0,20m ³	138
Figura 54. (A) Máquina Projatora – Obra C – (B) Mangueira projatora acoplada a máquina projatora.....	139
Figura 55. Resumo de emissões de CO ₂ em kgCO ₂ /m ² e % - Obra A.	145
Figura 56. Resumo de emissões de CO ₂ em kgCO ₂ /m ² e % - Obra B.	147
Figura 57. Resumo de emissões de CO ₂ em kgCO ₂ /m ² e % - Obra C.	150
Figura 58. Resumo de emissões de CO ₂ em kgCO ₂ /m ² e % - Obra D.	153
Figura 59. Resumo de emissões de CO ₂ em kgCO ₂ /m ² e % - Obra E.	155
Figura 60. Resumo de emissões de CO ₂ em kgCO ₂ /m ² e % - Obra F.	158
Figura 61. Emissões Embutidas no FE médio da fase de supraestrutura.....	159
Figura 62. Resumo de emissões de CO ₂ em kgCO ₂ /m ² e % - Obra A.	165
Figura 63. Resumo de emissões de CO ₂ em kgCO ₂ /m ² e % - Obra B.	168
Figura 64. Resumo de emissões de CO ₂ em kgCO ₂ /m ² e % - Obra C.	170
Figura 65. Resumo de emissões de CO ₂ em kgCO ₂ /m ² e % - Obra D.	173
Figura 66. Resumo de emissões de CO ₂ em kgCO ₂ /m ² e % - Obra E.	176
Figura 67. Resumo de emissões de CO ₂ em kgCO ₂ /m ² e % - Obra F.	178
Figura 68. Emissões Embutidas no FE médio da fase de alvenaria.....	179
Figura 69. Emissões Embutidas no FE médio da fase de revestimento interno (Reboco).....	188
Figura 70. Emissões Médias das fases de supraestrutura, alvenaria e reboco.....	190
Figura 71. Gráfico de emissões por obra da Região da Grande Florianópolis – SC.....	191
Figura 72. Gráfico de emissões médias por pavimento tipo de obras da Região da Grande Florianópolis – SC.....	191

Figura 73. Gráfico de emissões médias por fases de supraestrutura, alvenaria e revestimento interno (Reboco de parede), pertencentes a obras da Região da Grande Florianópolis – SC.....192

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Potencial de Aquecimento de alguns GEE.....	67
Tabela 2. Comparação resumida de ferramentas de contabilização de GEE.....	68
Tabela 3. Fases e atividades da Etapa da Construção de Edifícios.....	71
Tabela 4. Fator de emissão de referência de CO ₂ na produção de clínquer.....	75
Tabela 5. Fator de emissão de referência de CO ₂ na produção de cimento.....	76
Tabela 6. Fator de emissão de CO ₂ relacionado aos materiais de construção.....	80
Tabela 7. Densidade Aparente de Referência.....	80
Tabela 8. Fator de emissão relacionado ao consumo de energia elétrica em 2013.....	81
Tabela 9. Fator de emissão de CO ₂ relacionado ao combustível.....	81
Tabela 10. Dados consolidados de Gases de Efeito Estufa para todos os Escopos.....	107
Tabela 11. Precisão dos Dados.....	109
Tabela 12. Incertezas Recomendadas.....	120
Tabela 13. Emissões relacionadas ao concreto - Obra A.....	143
Tabela 14. Emissões relacionadas à madeira de fôrma - Obra A.....	143
Tabela 15. Emissões relacionadas ao aço de armaduras - Obra A.....	143
Tabela 16. Emissões relacionadas à escora metálica - Obra A.....	144
Tabela 17. Emissões relacionadas ao tijolo de laje - Obra A.....	144
Tabela 18. Resumo de emissões de CO ₂ na fase de supraestrutura - Obra A.....	144
Tabela 19. Emissões relacionadas ao concreto - Obra B.....	145
Tabela 20. Emissões relacionadas à madeira de fôrma - Obra B.....	146
Tabela 21. Emissões relacionadas ao aço de armaduras - Obra B.....	146
Tabela 22. Emissões relacionadas à escora metálica - Obra B.....	146
Tabela 23. Emissões relacionadas ao EPS - Obra B.....	147
Tabela 24. Resumo de emissões de CO ₂ na fase de supraestrutura - Obra B.....	147
Tabela 25. Emissões relacionadas ao concreto - Obra C.....	148

Tabela 26. Emissões relacionadas à madeira de fôrma - Obra C.....	148
Tabela 27. Emissões relacionadas ao aço de armaduras - Obra C.....	148
Tabela 28. Emissões relacionadas à escora metálica - Obra C.....	149
Tabela 29. Emissões relacionadas ao EPS - Obra C.....	149
Tabela 30. Resumo de emissões de CO ₂ na fase de supraestrutura - Obra C.....	149
Tabela 31. Emissões relacionadas ao concreto - Obra D.....	150
Tabela 32. Emissões relacionadas à madeira de fôrma - Obra D.....	151
Tabela 33. Emissões relacionadas ao aço de armaduras - Obra D.....	151
Tabela 34. Emissões relacionadas à escora metálica - Obra D.....	151
Tabela 35. Emissões relacionadas ao tijolo de laje - Obra D.....	152
Tabela 36. Emissões relacionadas à laje pré-fabricada Vigota “T” - Obra D.....	152
Tabela 37. Resumo de emissões de CO ₂ na fase de supraestrutura - Obra D.....	152
Tabela 38. Emissões relacionadas ao concreto - Obra E.....	153
Tabela 39. Emissões relacionadas à madeira de fôrma - Obra E.....	154
Tabela 40. Emissões relacionadas ao aço de armaduras - Obra E.....	154
Tabela 41. Emissões relacionadas à escora de madeira - Obra E.....	154
Tabela 42. Emissões relacionadas ao tijolo de laje - Obra E.....	155
Tabela 43. Resumo de emissões de CO ₂ na fase de supraestrutura - Obra E.....	155
Tabela 44. Emissões relacionadas ao concreto - Obra F.....	156
Tabela 45. Emissões relacionadas à madeira de fôrma - Obra F.....	156
Tabela 46. Emissões relacionadas ao aço de armaduras - Obra F.....	156
Tabela 47. Emissões relacionadas à escora de madeira - Obra F.....	157
Tabela 48. Emissões relacionadas ao EPS - Obra F.....	157
Tabela 49. Emissões relacionadas à laje pré-fabricada Vigota “T” - Obra F.....	157
Tabela 50. Resumo de emissões de CO ₂ na fase de supraestrutura - Obra F.....	158
Tabela 51. Emissão média na fase de supraestrutura – kgCO ₂ /m ²	159
Tabela 52. Emissões de CO ₂ por quilômetro rodado na fase de supraestrutura.....	161

Tabela 53. Emissões relacionadas ao tijolo furado por m ² de construção - Obra A.....	162
Tabela 54. Emissões relacionadas ao tijolo furado por m ² de parede - Obra A.....	163
Tabela 55. Emissões relacionadas à argamassa de assentamento por m ² construído Obra A.....	163
Tabela 56. Emissões relacionadas à argamassa de assentamento por m ² de parede Obra A.....	164
Tabela 57. Resumo de emissões de CO ₂ na fase de alvenaria - Obra A.....	164
Tabela 58. Emissões relacionadas ao tijolo furado por m ² de construção - Obra B.....	165
Tabela 59. Emissões relacionadas ao tijolo furado por m ² de parede - Obra B.....	166
Tabela 60. Emissões relacionadas à argamassa de assentamento por m ² construído Obra B.....	166
Tabela 61. Emissões relacionadas à argamassa de assentamento por m ² de parede Obra B.....	167
Tabela 62. Resumo de emissões de CO ₂ na fase de alvenaria - Obra B.....	167
Tabela 63. Emissões relacionadas ao tijolo furado por m ² de construção - Obra C.....	168
Tabela 64. Emissões relacionadas ao tijolo furado por m ² de parede - Obra C.....	169
Tabela 65. Emissões relacionadas à argamassa de assentamento estabilizada por m ² construído - Obra C.....	169
Tabela 66. Emissões relacionadas à argamassa de assentamento estabilizada por m ² de parede - Obra C.....	169
Tabela 67. Resumo de emissões de CO ₂ na fase de alvenaria - Obra C.....	170
Tabela 68. Emissões relacionadas ao tijolo furado por m ² de construção - Obra D.....	171
Tabela 69. Emissões relacionadas ao tijolo furado por m ² de parede - Obra D.....	171

Tabela 70. Emissões relacionadas à argamassa de assentamento por m ² construído Obra D.....	172
Tabela 71. Emissões relacionadas à argamassa de assentamento por m ² de parede Obra D.....	172
Tabela 72. Resumo de emissões de CO ₂ na fase de alvenaria - Obra D.....	173
Tabela 73. Emissões relacionadas ao tijolo furado por m ² de construção - Obra E.....	173
Tabela 74. Emissões relacionadas ao tijolo furado por m ² de parede - Obra E.....	174
Tabela 75. Emissões relacionadas à argamassa de assentamento por m ² construído Obra E.....	174
Tabela 76. Emissões relacionadas à argamassa de assentamento por m ² de parede Obra E.....	175
Tabela 77. Resumo de emissões de CO ₂ na fase de alvenaria - Obra E.....	175
Tabela 78. Emissões relacionadas ao tijolo furado por m ² de construção - Obra F.....	176
Tabela 79. Emissões relacionadas ao tijolo furado por m ² de parede - Obra F.....	176
Tabela 80. Emissões relacionadas à argamassa de assentamento por m ² construído Obra F.....	177
Tabela 81. Emissões relacionadas à argamassa de assentamento por m ² de parede Obra F.....	177
Tabela 82. Resumo de emissões de CO ₂ na fase de alvenaria - Obra F.....	177
Tabela 83. Emissão média na fase de alvenaria– kgCO ₂ /m ²	178
Tabela 84. Emissões de CO ₂ por quilômetro rodado na fase de alvenaria.....	180
Tabela 85. Emissões relacionadas à argamassa de revestimento interno (reboco) por m ² de construção - Obra A.....	182
Tabela 86. Emissões relacionadas à argamassa de revestimento interno (reboco) por m ² de parede - Obra A.....	182
Tabela 87. Emissões relacionadas à argamassa de revestimento interno (reboco) por m ² de construção - Obra B.....	183

Tabela 88. Emissões relacionadas à argamassa de revestimento interno (reboco) por m ² de parede - Obra B.....	183
Tabela 89. Emissões relacionadas à argamassa de revestimento interno (reboco) por m ² de construção - Obra C.....	184
Tabela 90. Emissões relacionadas à argamassa de revestimento interno (reboco) por m ² de parede - Obra C.....	184
Tabela 91. Emissões relacionadas à argamassa de revestimento interno (reboco) por m ² de construção - Obra D.....	185
Tabela 92. Emissões relacionadas à argamassa de revestimento interno (reboco) por m ² de parede - Obra D.....	185
Tabela 93. Emissões relacionadas à argamassa de revestimento interno (reboco) por m ² de construção - Obra E.....	186
Tabela 94. Emissões relacionadas à argamassa de revestimento interno (reboco) por m ² de parede - Obra E.....	186
Tabela 95. Emissões relacionadas à argamassa de revestimento interno (reboco) por m ² de construção - Obra E.....	187
Tabela 96. Emissões relacionadas à argamassa de revestimento interno (reboco) por m ² de parede - Obra F.....	187
Tabela 97. Emissão média na fase de revestimento interno (Reboco) – kgCO ₂ /m ²	188
Tabela 98. Emissões de CO ₂ por quilômetro rodado na fase de revestimento interno (Reboco de parede).....	189
Tabela 99. Balanço Geral de Emissões na Etapa da Construção.....	190
Tabela 100. Cenários de neutralização.....	197

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Resumo de coleta de dados.....	105
Quadro 2. Resumo sobre os consumos médios de materiais e serviço de construção.....	140

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CO ₂	Dióxido de Carbono
CO ₂ eq	Dióxido de Carbono Equivalente
CH ₄	Metano
FE	Fator de Emissão
GEE	Gases de Efeito Estufa
kg	Quilogramas
km	Quilômetros
kWh	Quilo Watts Hora
l	Litro
m	Metro
m ²	Metro ao Quadrado
m ³	Metro ao Cubo
NBR	Norma Brasileira Registrada
t	Tonelada
un.	Unidade
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
Σ	Somatório

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	33
1.1 JUSTIFICATIVA.....	33
1.2 OBJETIVO.....	39
1.2.1 Objetivo Geral.....	39
1.2.2 Objetivos Específicos	39
1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA.....	40
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	40
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	49
2.1 Contexto de emissões no cenário global.....	49
2.2 Situação do setor da Construção Civil no âmbito das emissões.....	54
2.3 Situação das etapas construtivas no âmbito das emissões	56
2.4 Ferramentas de Contabilização de Emissões de Gases de Efeito Estufa.....	58
2.4.1 Software IPCC 2006 – Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa	58
2.4.2 Convenção do Quadro das Nações Unidas (UNFCCC)	60
2.4.3 Análise de Ciclo de Vida (ACV).....	60
2.4.4 Programa GHG Protocol.....	63
2.4.5 Resumo da Aplicação de Ferramentas.....	68
2.4.6 Inventário de Emissões de GEE na Etapa da Construção – Dados de Atividade	68
2.4.6.1 Inventário de GEE – Resumo dos Dados de Atividade.....	71
2.4.7 Inventário de Emissões de GEE na Etapa da Construção – Fatores de Emissão (FE).....	73
2.4.7.1 Fatores de Emissão (FE) da Construção Civil	74
2.4.7.1.1 Cimento.....	74
2.4.7.1.2 Agregados	76
2.4.7.1.3 Argamassa de Cimento – Cal – Areia	77

2.4.7.1.4 Concreto	77
2.4.7.1.5 Madeira (Fôrma)	78
2.4.7.1.6 Aço (Armadura).....	78
2.4.7.1.7 Poliestireno Expandido (EPS).....	79
2.4.7.1.8 Bloco Cerâmico Furado	79
2.4.7.1.9 Argamassas.....	79
2.4.7.2 Resumo dos Fatores de Emissão (FE)	79
2.4.8 Neutralização de CO ₂ : Uma oportunidade na etapa da construção de edifícios.....	81
3. MÉTODO DE PESQUISA	85
3.1 Limites da Pesquisa.....	85
3.1.1 Sistema Geral de Avaliação	85
3.1.2 Sub-sistema de Avaliação.....	86
3.2 Coleta de Dados	87
3.2.1 Sub-sistema Obra.....	87
3.2.3 Sub-sistema Emissões de CO₂.....	98
3.3 Cenários Avaliados.....	107
3.3.1 Cenários do Estudo de Caso	110
3.3.2 Área de Influência.....	116
3.4 Neutralização de Carbono	117
3.5 Gestão de Incertezas.....	118
4. DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DOS DADOS	125
4.1 Fase de Supraestrutura	125
4.2 Fase de Alvenaria	135
4.3 Fase Revestimento Interno (Reboco)	138
4.4 Resumo dos consumos de materiais e serviço de construção.....	140
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	141
5.1 Fase de Supraestrutura	141

5.2	Fase Alvenaria.....	161
5.3	Fase de Revestimento Interno (Reboco).....	181
5.4	Contabilização Geral de Emissões de CO ₂	189
5.5	Neutralização de Emissões de CO ₂	196
	6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	199
6.1	CONCLUSÕES.....	199
6.2	RECOMENDAÇÕES.....	203
	REFERÊNCIAS.....	205
	APÊNDICE A.....	215
	APÊNDICE B.....	219
	APÊNDICE C.....	223
	APÊNDICE D.....	227
	APÊNDICE E.....	229

1. INTRODUÇÃO

JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento socioeconômico da humanidade visa elevar a expectativa e a qualidade de vida, no entanto, esse padrão de progresso implica em maior consumo de matéria-prima, energia, geração de resíduos e um aumento exponencial de emissões de gases considerados de efeito estufa. A construção de uma sociedade mais justa e comprometida com as gerações futuras é um meio para se equilibrar o desenvolvimento frente aos problemas ambientais gerados.

As discussões ambientais foram impulsionadas principalmente pela crise energética do petróleo, quando surge a ideia do desenvolvimento da humanidade baseado em medidas que garantam as necessidades das gerações futuras. O primeiro conceito de desenvolvimento sustentável foi elaborado em 1987 pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, no Relatório Brundtland.

O aumento de gases considerados de efeito estufa excede a capacidade suporte do sistema global, sendo um fator destacado com ênfase pela comunidade científica.

Há pesquisas que demonstram a existência de mecanismos geradores de efeito estufa, responsáveis pelo aquecimento global, em contra partida, outras correntes sugerem que nos próximos 15 a 20 anos ocorra um resfriamento no clima global (MOLION, 2007).

Os gases internacionalmente reconhecidos como gases de efeito estufa regulados pelo Protocolo de Quioto, a saber, são: dióxido de carbono (CO₂); metano (CH₄); óxido nitroso (N₂O); hexafluoreto de enxofre (SF₆); hidrofluorcarbonos (HFCs) e perfluorcarbonos (PFCs).

A fim de proteger o meio ambiente, a ausência de certeza científica absoluta não será utilizada como razão para adiamento de medidas economicamente viáveis a prevenção da degradação ambiental (DECLARAÇÃO DO RIO, 1992). Trata-se, portanto de uma ação consoante ao princípio da precaução, desenvolvido por Vorsorge Prinzip, na década de 70, Alemanha (MMA, 2014).

As emissões de gases de efeito estufa geram um novo cenário mundial e lançam um desafio para a gestão das atividades econômicas, bem como a elaboração de novas estratégias sustentáveis, diante de novos riscos e oportunidades, sendo que um dos setores presentes nesse

processo é o da Construção Civil, evidentemente estratégico para a economia brasileira (SINDUSCON-SP, 2013).

Estima-se que até o ano de 2020 o Brasil emitirá gases de efeito estufa nas seguintes proporções: 44% (1,4 giga toneladas de CO₂eq) através do uso da terra, 28% (0,9 giga toneladas de CO₂eq) oriundos do setor de energia, 22% (0,7 giga toneladas de CO₂eq) do setor agropecuário e 6% (0,2 giga toneladas de CO₂eq) de processos industriais e tratamento de resíduos (IPAM, 2010). No setor de Processos Industriais se inclui a indústria da construção civil, representada destacadamente pela etapa de transformação de matérias-primas, no cenário nacional.

Dentre os setores da economia o Uso de Terra e Florestas se destaca pela maior participação nas emissões nacionais, seguido de Agropecuária, Processos Industriais, Tratamento de Resíduos e Energia, conforme demonstrado na Figura 1, abaixo:

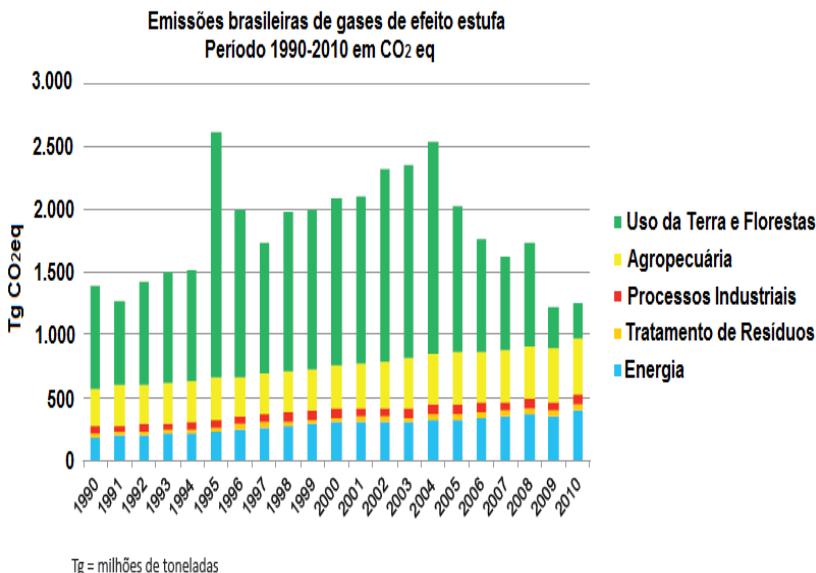


Figura 1. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil.
Adaptado de MCTI, 2013.

A construção civil é um setor produtivo com elevada demanda de recursos naturais, seja nas etapas iniciais como extração de matéria-prima, construção ou nas finais, como na operação de edificações.

O setor é o maior consumidor de recursos naturais e apresenta um consumo de 30% de energia direta e 50% de energia indireta (CIB, 1999). O uso direto de energia se refere ao consumido diretamente nos processos, como na produção de cimento, por exemplo, enquanto que o consumo indireto se refere a energia consumida pela geração de energia elétrica, energia necessária ao transporte de matérias-primas, ao abastecimento de água, entre outras. Com relação a sua participação em emissões de gases de efeito estufa globais, portanto, no cenário mundial, o setor da construção civil é responsável por aproximadamente 30% do total de CO₂ equivalente emitido a atmosfera (IPCC, 2007).

Dentre as etapas que compõem a cadeia da construção civil como a de extração de matéria-prima, transformação da matéria-prima, construção, uso ou operação, observa-se uma tendência no avanço da pesquisa sobre emissões de gases de efeito estufa nas etapas de transformação (materiais de construção) e operação, com ênfase no uso de edifícios.

Na etapa de transformação tanto os inventários de gases de efeito estufa nacional, como os realizados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2010) contabilizam, geralmente, as emissões em subsetores como o da produção de cimento, produção de cal e produção metalúrgica, este último pela redução do minério de ferro no alto-forno com a utilização de coque de carvão mineral, para produção de ferro-gusa e aço. Segundo Abanda, Tah e Cheung (2012), na etapa de operação de edifícios, há uma tendência na realização de inventários para contabilização das emissões de gases de efeito estufa, geralmente, com base no consumo de energia elétrica e de combustíveis fósseis.

O Setor da Indústria, no Brasil, registrou uma emissão de 22,048 milhões de toneladas de CO₂eq, oriunda da produção de cimento, perdendo somente para a produção de ferro-gusa e aço, com 35,437 milhões de toneladas de CO₂eq (MCTI, 2013).

Mesmo que estudos demonstrem que a maior parte das emissões do setor da construção civil está na fabricação e no transporte dos materiais de construção aos centros de comercialização, a etapa da construção possui grande relevância na cadeia de valor e, por isso, demanda uma maior investigação para a determinação de um perfil de emissões de gases de efeito estufa.

A construção de edificações resulta em diversos impactos ambientais diretos e indiretos como: alteração da paisagem, geração de resíduos sólidos e efluentes, geração de ruídos, poluição atmosférica

pela emissão de particulados e pela emissão de gases de efeito estufa a atmosfera, entre outros.

Diante do potencial de redução na emissão de gases de efeito estufa na etapa da construção a Agência de Proteção Ambiental (EPA, 2009), contabilizou as emissões de gases de efeito estufa, nos Estados Unidos da América, pelo consumo de combustível fóssil e compra de eletricidade, na etapa da construção, conforme se demonstra abaixo, em milhões de toneladas de COeq:

Emissão por Subsetores da Etapa da Construção

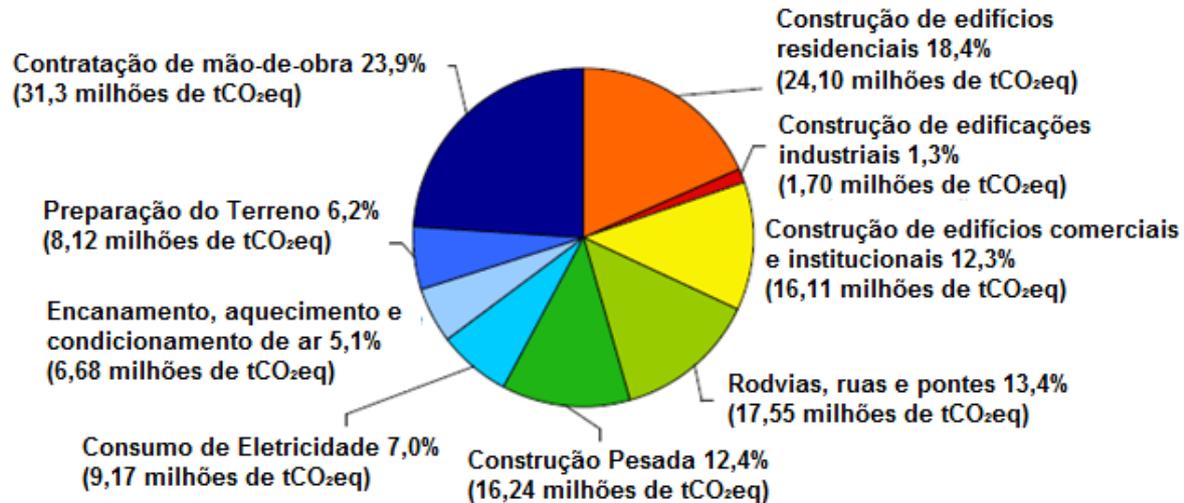


Figura 2. Emissão por subsectores da etapa da construção no ano de 2002.
Adaptado da EPA, 2009.

O setor da construção emite grande quantidade de gases de efeito estufa, onde se definem quatro fontes estratégicas de emissões: a transformação de matérias-primas, onde as demais se referem a etapa da construção, como uso de equipamentos elétricos na construção, consumo de energia elétrica para processamento de materiais de construção e consumo de combustível fóssil para a eliminação de resíduos da construção (YAN et al, 2010).

A elaboração de inventários de gases de efeito estufa é a primeira medida para que um setor, instituição ou empresa possa contribuir para o combate às mudanças climáticas, onde se estabelece estratégias, planos e metas para redução e gestão das emissões de gases de efeito estufa (PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL, 2008).

Diversas empresas do setor da construção civil têm tomado iniciativas na direção de estabelecer processos de gestão de suas emissões, a iniciar pela realização e publicação de Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa e prosseguindo por medidas de gestão para a sua redução (SINDUSCON-SP, 2013).

Aliada a essas iniciativas, no ano de 2009, durante 16ª Conferência das Partes (COP) - signatárias a Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas – no México, o Brasil regulamentou o Decreto nº 7.390, que originou a Lei nº 12.187, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC (2009). Diante disso, o país adotou como compromisso nacional voluntário, ações de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, com o objetivo de reduzir entre 36,1% e 38,9% suas emissões projetadas até 2020.

Nesse contexto, diante da escassez de dados referentes à participação da etapa da construção, com ênfase na construção de edifícios, no cenário de emissões nacional e internacional, da existência de políticas públicas e ferramentas de contabilização de emissões de gases de efeito estufa, da capacidade de contribuir com a redução de emissões na etapa proposta, espera-se que essa pesquisa forneça elementos para o fortalecimento da sustentabilidade na construção civil, bem como a cultura de inventários de gases de efeito estufa no setor.

Nesta dissertação é proposto ainda se traçar um perfil de emissão de CO₂, na etapa da construção de edifícios, na Região da Grande Florianópolis, especificamente sobre as fases de supraestrutura, alvenaria convencional e revestimento interno (reboco de parede). Posteriormente a contabilização de emissões, através de inventário de

gases de efeito estufa, propõe-se a mitigação desse impacto ambiental pelo mecanismo de neutralização, por sequestro de carbono.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo Geral

Esta pesquisa teve por objetivo elaborar um inventário de gases de efeito estufa sobre atividades desenvolvidas por empresas construtoras e empresas fornecedoras de materiais de construção, em canteiros de obras, visando contabilizar a quantidade de CO₂ emitida em parte da etapa de construção, como nas fases de estrutura e de vedações.

1.2.2 Objetivos Específicos

Esta pesquisa tem por objetivos específicos propor medidas que visem contribuir com a eficácia do inventário de gases de efeito estufa, em parte da etapa de construção. Essas medidas consistem nas seguintes propostas:

- ❖ identificar as principais fontes de emissões de gases de efeito estufa (CO₂) decorrentes das atividades desenvolvidas nas fases de supraestrutura, alvenaria e revestimento de argamassa, na construção de edifícios multifamiliares;
- ❖ gerar indicadores de emissão de CO₂ por metro quadrado (m²) de construção nas fases específicas e por metro quadrado de parede interna nas fases de alvenaria e reboco;
- ❖ propor medidas de mitigação de emissões na etapa avaliada através da neutralização das emissões por remoção de carbono.

1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA

A pesquisa foi dividida em seis capítulos, ordenados na seguinte forma:

No capítulo 1, Introdução, composta por justificativa da pesquisa, objetivos e a estrutura da pesquisa;

No capítulo 2, Revisão Bibliográfica, apresenta-se o levantamento bibliográfico sobre contexto das emissões de gases de efeito estufa no cenário global, situação do setor da construção civil no âmbito das emissões, ferramentas de suporte a produção de inventários de emissões, temas julgados pertinentes para subsidiar o desenvolvimento da pesquisa;

No capítulo 3, Método, apresenta-se o detalhamento do sistema avaliado na pesquisa;

No capítulo 4, Diagnóstico e Análise dos dados, desenvolve-se uma análise geral sobre resultados obtidos, principalmente *in loco*, bem como, explanações sobre fatores limitantes, tomada de decisão no levantamento de dados de atividades, nas fases de supraestrutura, alvenaria e reboco, na etapa da construção;

No capítulo 5, Resultados e Discussões, desenvolve-se uma análise aprofundada sobre a aplicação da ferramenta de contabilização de emissões de gases de efeito estufa sobre os dados de atividades obtidos nas fases de supraestrutura, alvenaria e reboco, na etapa da construção;

No capítulo 6, Considerações Finais e Recomendações de Trabalhos Futuros.

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Nesta pesquisa de mestrado adotou-se como critério espacial a Região da Grande Florianópolis, Estado de Santa Catarina (SC), Brasil.

A região é composta por 22 municípios, sendo eles: Águas Mornas, Alfredo Wagner, Angelina, Anitápolis, Antônio Carlos, Biguaçu, Canelinha, Florianópolis, Garopaba, Governador Celso Ramos, Leoberto Leal, Major Gercino, Nova Trento, Palhoça, Paulo Lopes, Rancho Queimado, Santo Amaro da Imperatriz, São Bonifácio, São João Batista, São José, São Pedro de Alcântara e Tijucas.

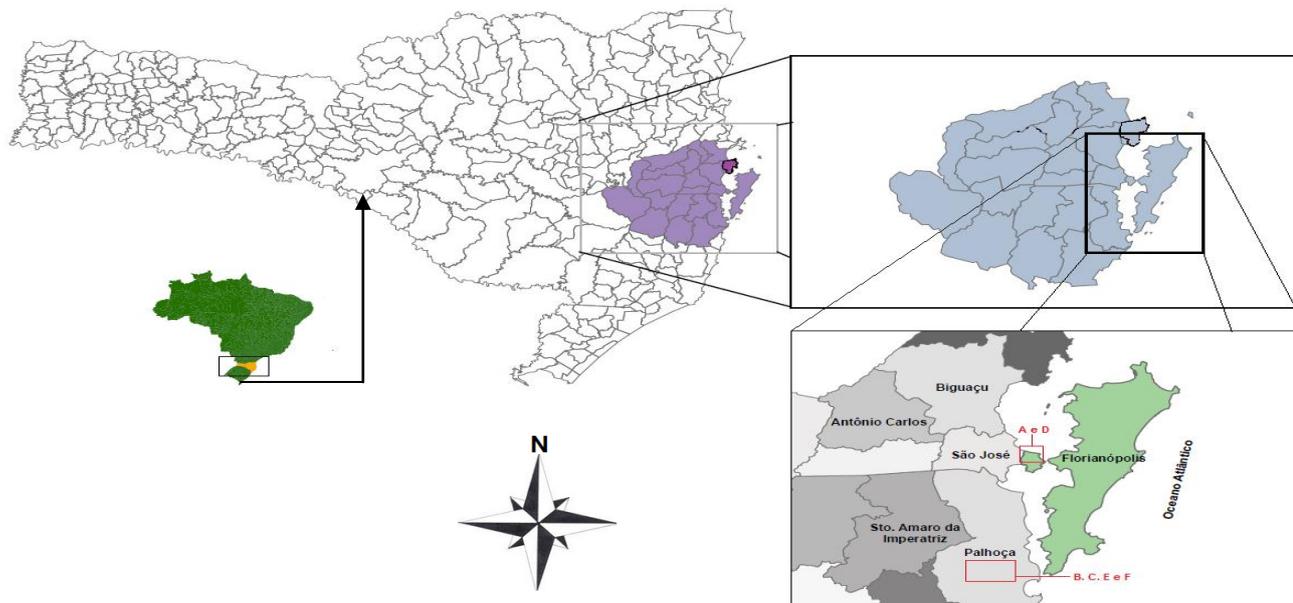


Figura 3. Delimitação Espacial: Brasil (País)--- Santa Catarina (Estado)---- Grande Florianópolis (Mesorregião)---- Florianópolis (Porção Continental), São José e Palhoça (Municípios)--- Obra A (Florianópolis), Obra D (São José) e Obras B, C, E e F (Palhoça).

As obras particulares avaliadas são classificadas por “Obras de Edificação Habitacional”. A Obra A encontra-se localizada na porção continental do município de Florianópolis; a Obra B no município de São José e as obras B, C, E e F, localizam-se no município de Palhoça (Figura 3). Portanto, o objeto de pesquisa consiste em 06 edifícios residenciais multifamiliares, inseridos na Região da Grande Florianópolis (SC), com um número médio de 11 Pavimentos Tipo. Cada obra representa uma empresa distinta das demais, ou seja, não há duas, três ou mais obras pertencentes a uma mesma construtora, nessa pesquisa de mestrado.

Com relação à delimitação temporal, destaca-se que nesta pesquisa de mestrado, a coleta de dados a campo compreendeu o período entre os meses de agosto do ano de 2013 até maio de 2014.

Em referência a norma ABNT NBR ISO 12.721, realizou-se um classificação das obras avaliadas, com base nas características principais dos projetos-padrão, como a área real (Ar), o número de pavimentos tipo e quantidade de apartamentos por pavimento tipo e quantidade de dormitórios por apartamentos. Cabe destacar que em todos os cenários de obras avaliadas as edificações continham em sua composição: pilotis, garagem e pavimentos tipo. Dessa forma, apresenta-se a seguinte classificação das obras avaliadas, diante da caracterização da norma técnica supracitada:

- Obra A: Padrão Normal (Ref. Norma: R8 - Padrão Normal R8 – N);
- Obra B: Padrão Normal (Ref. Norma: R16 – Padrão Normal R16 – N);
- Obra C: Padrão Normal (Ref. Norma: R16 – Padrão Normal R16 – N);
- Obra D: Padrão Normal (Ref. Norma: R16 – Padrão Normal R16 – N);
- Obra E: Padrão Normal (Ref. Norma: R8 - Padrão Normal R8 – N);
- Obra F: Padrão Normal (Ref. Norma: R8 - Padrão Normal R8 – N).

A TCPO (2010) demonstra a seguinte caracterização para um edifício residencial de padrão médio, quanto ao empreendimento:

- Área construída em torno de 7.500,00 metros quadrados com dois subsolos, térreo e 19 pavimentos-tipo;
- Dois elevadores;

- Apartamentos em torno de 60,00 metros quadrados com dois dormitórios e uma suíte;
- Área de lazer completa e composta por churrasqueira, salão de jogos, salão de festas, piscina, *playground*, sala de ginástica, entre outros;

Quanto à característica da obra:

- Fundações com sapata de concreto;
- Estrutura de concreto armado;
- Laje convencional;
- Alvenaria de blocos cerâmicos, porém predominantemente em blocos de concreto;
- Janelas de alumínio e portas de madeira;
- Instalações hidráulicas de água fria, quente e esgoto de PVC;
- Revestimento de piso: áreas molháveis de piso cerâmico, áreas secas no contrapiso e áreas comuns de granito;
- Revestimento de parede: áreas molháveis de azulejo e áreas secas de revestimento de argamassa e pintura látex;
- Cobertura da laje com telha de fibrocimento;
- Fachada com argamassa, pintura látex e textura.

De maneira geral, as características das obras avaliadas são:

- Estrutura de concreto armado, em sistema de estrutura convencional, com produção de lajes, vigas e pilares *in loco* ;
- Laje nervurada predominantemente moldada no local. Nas obras D e F a laje apresenta nervura pré-moldada composta por vigotas treliçadas;
- Alvenaria de vedação com blocos cerâmicos de 8 furos nas dimensões 11,5 cm x 19 cm x 19 cm, aplicados na produção de paredes internas e blocos cerâmicos de 12 furos nas dimensões 14 cm x 24 cm x 19 cm aplicados na produção de paredes externas;
- Argamassa de assentamento produzida *in loco*, com exceção da Obra C, cuja argamassa utilizada foi a estabilizada (pré-fabricada);
- Revestimento de argamassa interno, com ênfase no reboco, a argamassa foi predominantemente

produzida *in loco*, com exceção da Obra A cujo revestimento de argamassa interno (reboco) era estabilizada (pré-fabricada) e fornecida por empresa especializada.

Portanto, com base nas referências técnicas da norma NBR ISO 12.721:2006 e na caracterização tanto do empreendimento quanto da obra pela TCPO (2010), todas as obras avaliadas nessa pesquisa de mestrado se enquadraram na classificação Edifício Residencial de Padrão Normal.

Diante das características de organização da execução de obra, baseado nos materiais, equipamentos e componentes construtivos, todas as 06 obras avaliadas foram classificadas em sistema construtivo de estrutura de concreto armado.

A avaliação de emissões de CO₂ delimitou-se em três fases da construção: supraestrutura, alvenaria e revestimento de argamassa interna.

A avaliação de emissões de CO₂ na fase da supraestrutura delimitou-se a três serviços: concreto, formas e escoramentos e armaduras. No serviço de concreto avaliaram-se as emissões de CO₂ sobre a seguinte sequência de operações relacionadas ao Pavimento Tipo: transporte do concreto, por caminhão betoneira, da usina até a obra, ou seja, em todas as obras avaliadas o concreto estabilizado foi fornecido por empresas do ramo; lançamento do concreto através de caminhões bomba e bombas estacionárias (concreto bombeado), ou seja, o transporte interno do concreto não ocorreu via elevador de cargas, grua ou guincho de coluna; adensamento por processo mecânico através do equipamento vibrador de concreto. Resumiu-se esse processo da seguinte forma:

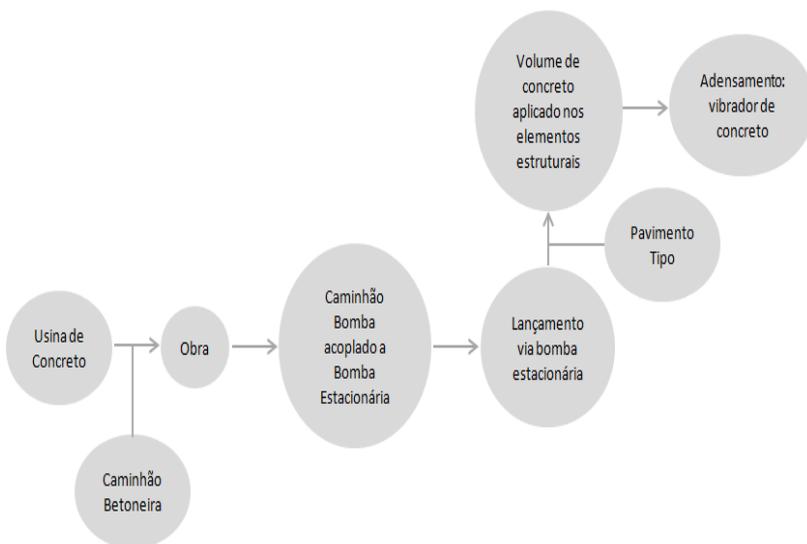


Figura 4. Delimitação geral das operações presentes no serviço de concretagem.

Dessa forma, determinaram-se as emissões de CO₂ pelo consumo de combustível fóssil do caminhão betoneira no transporte do concreto da usina a obra, no consumo combustível fóssil do caminhão betoneira na operação de basculação durante o lançamento do concreto até o pavimento tipo, combustível fóssil do caminhão bomba no deslocamento da usina a obra, no consumo combustível fóssil do caminhão bomba na operação de bombeamento durante o lançamento do concreto até o pavimento tipo, no consumo de volume de concreto por pavimento tipo e no consumo de energia elétrica pelo vibrador de concreto. Consideraram-se ainda as emissões pelo consumo de combustível fóssil pelo retorno (deslocamento da obra a usina) tanto do caminhão betoneira quanto do caminhão bomba. Portanto, nesse serviço, não foram avaliadas as emissões de CO₂ oriundas das redes embutidas como eletrodutos, tubulações e caixas.

No serviço de formas e escoramento avaliaram-se as emissões de CO₂ sobre a seguinte sequência de operações relacionadas ao Pavimento Tipo: transporte de tábuas de pinus do fornecedor a obra; transporte de escora de madeira ou escora metálica do fornecedor a obra; corte das tábuas de pinus através da serra circular de bancada. Consideraram-se ainda as emissões pelo consumo de combustível fóssil

pelo retorno do caminhão transportador de tábuas e/ou escoras (deslocamento da obra ao fornecedor).

Não há emissão por deslocamento vertical (transporte interno), por exemplo, do térreo até o pavimento tipo ou de pavimento tipo para pavimento tipo, pois é realizado manualmente, pela escada presente no interior da edificação.

Considerando que um sistema de fôrmas pode ser dividido em: molde, cimbramento e acessórios, avaliaram-se as emissões de CO₂ oriundas da utilização de tábuas de pinus (molde) e pelo escoramento (cimbramento). Portanto, não foram contabilizadas as emissões pelo uso de elementos que compõem o travamento, como sarrafos e pontaltes, por exemplo, bem como acessórios como cruzetas. Resumiu-se esse processo da seguinte maneira:

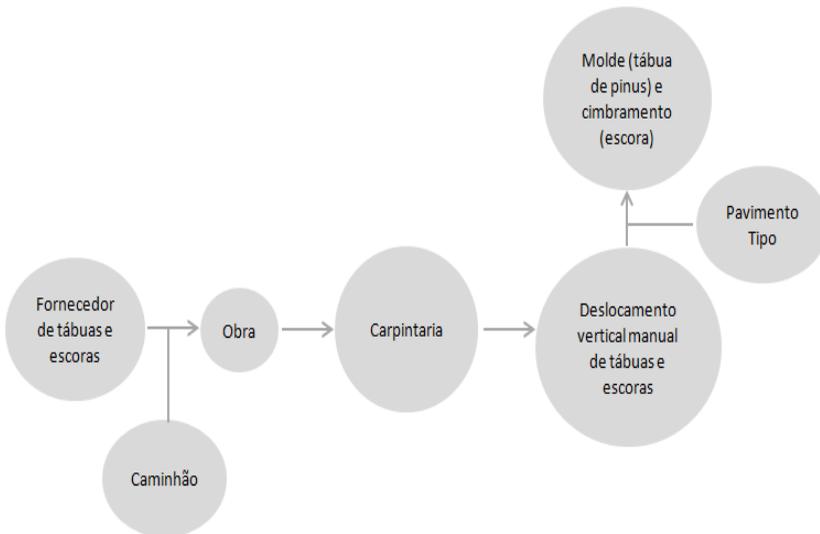


Figura 5. Delimitação geral das operações presentes no serviço de fôrmas.

Diante da impossibilidade de se estimar um fator de emissão ao madeirite, da diversidade de tipos de painéis, com chapas com variado número de lâminas e OSB, observado em obras, da escassez de fatores de emissão para esses materiais de construção, na bibliografia, desconsiderou-se a participação desse material no âmbito das emissões. Portanto, a referência de emissões na atividade de produção de fôrmas, consiste na aplicação de madeira ou tábuas de pinus e escoras.

Com relação ao aço para produção de armaduras de concreto armado o processo é similar ao serviço de fôrmas, onde foram relevantes as emissões pelo transporte do aço, consumo de energia elétrica pelo uso de máquina policorte e guincho de coluna e o consumo desse material, nos elementos estruturais presentes no pavimento tipo. A quantidade de aço utilizada nos pavimentos tipo varia à medida que a edificação aumenta seu número de pavimentos, portanto se utilizou dados de consumo médio.

Ainda, incluiu-se a fase de supraestrutura as emissões de CO₂ decorrente do transporte, do consumo de material de construção e de energia elétrica relacionada ao uso de materiais de enchimento como tabelas na laje, laje pré-fabricada e EPS.

Na fase de alvenaria as emissões foram contabilizadas nos subsistemas consumo de material, consumo de energia elétrica e consumo de combustível pelo fornecimento de material de construção. Em todas as obras avaliadas a alvenaria se caracterizou por ser em pedra artificial (bloco cerâmico), argamassa de assentamento produzida *in loco*, com exceção da Obra C. As medições de consumo de blocos cerâmicos de 8 furos nas dimensões 11,5 cm x 19 cm x 19 cm, bem como de argamassa de assentamento foram realizadas nas paredes internas. Não foram realizadas medições em paredes com esquadrias.

Na fase de Revestimento de argamassa interna, especificamente o reboco de paredes, as emissões foram contabilizadas nos subsistemas consumo de material para produção da argamassa de revestimento interno, consumo de energia elétrica, por exemplo, pelo uso de betoneiras e elevador de cargas, ou ainda pela utilização de máquinas projetoras (Obra C) e consumo de combustível pelo fornecimento de material de construção.

Mesmo que os processos construtivos apresentem perdas, como por exemplo, um maior consumo de argamassa de revestimento interno (reboco) evidenciada por uma espessura acima 1,5 centímetros (espessura do reboco), não foram consideradas as perdas nos índices de emissões. Ainda, não foram consideradas as emissões pela geração de resíduos nas fases três fases selecionadas, bem como as emissões de CO₂ pelo consumo de água nos materiais e serviços de construção e pelo consumo de aditivos em argamassas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Contexto de emissões no cenário global

Há indícios de que os gases de efeito estufa influenciam na dinâmica da superfície e a atmosfera, com implicações significativas nos ciclos hidrológicos, na qualidade do ar, nível dos mares e outros fatores.

A cerca de 30 anos, foi reconhecido o aumento do ozônio troposférico através da poluição do ar por gases de efeito estufa, gerando um problema global (RAMANATHAN; FENG, 2009) e, portanto, o tratamento das mudanças climáticas é parte do “desafio do século XXI” de alcançar o desenvolvimento sustentável (VEIGA, 2008).

Diante desse cenário o desenvolvimento de ações antecipatórias para proteger a saúde das pessoas e dos ecossistemas devem guiar as atividades humanas, além de incorporar outros conceitos como o de prevenção, senso comum, justiça e equidade (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2014).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) foi criado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pelo Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP) em 1988 e até hoje representa a principal referência de projeções dos efeitos causados pelos gases de efeito estufa ao sistema global. Seu principal objetivo consiste em avaliar as informações científicas, técnicas e sócio-econômicas relevantes para o entendimento das mudanças climáticas induzidas por ações humanas, impactos potenciais da mudança do clima e as opções para mitigação e adaptação.

A evidência científica trazida pelo primeiro Relatório de Avaliação do IPCC, em 1990, revelou a importância das alterações climáticas como um tema que merece uma plataforma política entre os países para enfrentar suas conseqüências, sendo que o segundo Relatório de Avaliação do IPCC, de 1995, deu a contribuição fundamental no caminho para a adoção do Protocolo de Quioto em 1997. O Terceiro Relatório de Avaliação foi lançado em 2001 e o quarto durante o ano de 2007.

No ano de 1992, as concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) obtiveram um crescimento significativo de 30%, 145% e 15%, respectivamente (IPCC, 1995). As concentrações de CO₂ aumentaram para mais de 390ppm, ou 39% acima da era pré-industrial, porém estratégias globais de redução de emissões projetam uma redução em 50% a 85% até 2050 (IPCC, 2011). Entretanto, no cenário atual, há

registros de concentrações em torno de 400ppm, o que representa um limite crítico.

Efetivamente ocorreu um aumento de gases de efeito estufa da era pré-industrial até o presente momento, porém o aumento de 2,4°C, preconizado pelo IPCC, registrou-se apenas 0,6°C (RAMANATHAN; FENG, 2009).

No ano de 1995 o IPCC já destacava que as tendências do aumento nas concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera são atribuídas em grande parte as atividades humanas, principalmente pelo uso de combustíveis fósseis, pela mudança do uso da terra e da agricultura.

Em 2007, o IPCC aprofundou suas pesquisas nos setores da indústria, energia, construção civil, transporte, florestas, agricultura, resíduos, a fim de elaborar estratégias de mitigação das emissões antrópicas. Recentemente, no ano de 2011, o foco das pesquisas foi direcionado as energias renováveis no âmbito das mudanças climáticas, como energia de fontes fotovoltaica, geotérmica, hidroelétrica, eólica, entre outras.

Desde então o IPCC vem traçando cenários globais de emissões e os possíveis efeitos sobre os oceanos, o solo, o sistema de precipitação, atmosfera, entre outros.

Basicamente, a elaboração de cenários de emissões de gases de efeito estufa teve seu início em 2000, onde o IPCC definiu da seguinte maneira:

- **Cenário A1:** trata-se de um mundo em rápido crescimento econômico, com rápida introdução de novas tecnologias eficientes, onde a população global atinge o seu pico em meados do século e posterior declínio. Esse cenário se divide em três grupos, que pelo critério de uso de energia: fósseis de maneira intensiva (A1FI), recursos energéticos não-fósseis (A1T) e um equilíbrio em todas as fontes (A1B);
- **Cenário A2:** descreve um mundo muito heterogêneo, com alto crescimento populacional, mas com desenvolvimento econômicos e mudança nas tecnologias lentos;
- **Cenário B1:** refere-se a um mundo provido de rápidas mudanças em estruturas econômicas, introdução de tecnologias limpas e eficazes, com ênfase em soluções globais sustentáveis. A população

alcança seu pico na metade do século e posteriormente declina;

- **Cenário B2:** foco em soluções locais para sustentabilidade, mudanças econômicas e tecnológicas menos rápida e mais diversificada frente aos cenários A1 e B1. Ocorre crescimento contínuo da população, porém com orientação a proteção ambiental e equidade social, em níveis local e regional.

Com base nesses cenários, desde o ano de 2000, o IPCC desenvolve projeções de emissões de gases de efeito estufa, em escala global, principalmente em correlações de temperatura (°C) por período (Anos), Concentração de Gases de Efeito Estufa (Gt de CO₂eq) por período (Anos) e Concentração de Gases de Efeito Estufa (ppm ou ppb) por período (Anos). Em todas as correlações se observa o comportamento das curvas referentes a cada cenário predeterminado.

No quarto relatório, conhecido por AR 4 (*Assessment Report 4*) o IPCC evolui sobre o tratamento de incertezas e elabora as seguintes projeções de emissão de gases de efeito estufa, considerando uma emissão total de 49 giga toneladas CO₂eq, em escala global:

Emissões Globais de Gases de Efeito Estufa por Ações Antropogênicas Ano 2004

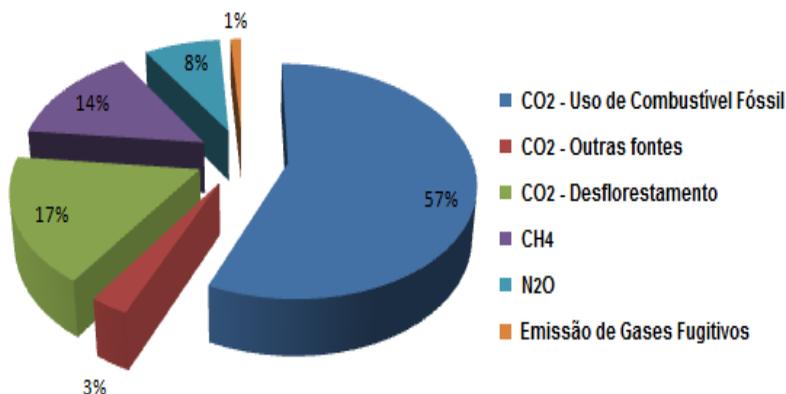


Figura 6. Emissão de GEE Global por Ações Antropogênicas.
Adaptado da IPCC, 2007.

Emissões Globais de Gases de Efeito Estufa por Ações Antropogênicas em Diferentes Setores Ano 2004

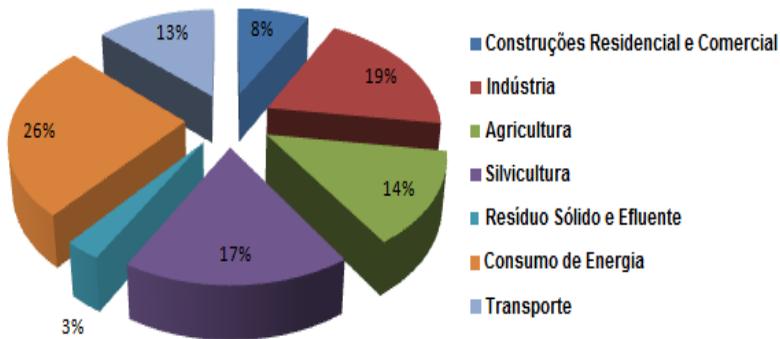


Figura 7. Emissão de GEE Global por Ações Antropogênicas em Diferentes Setores.

Adaptado da IPCC, 2007.

Ao considerar os cenários de referência as projeções de emissões são amplamente utilizadas nas avaliações futuras de mudança climática, bem como seus pressupostos em relação às mudanças socioeconômicas, demográficas e tecnológicas. Essa projeções possuem como objetivo principal proporcionar o suporte para avaliações sobre vulnerabilidades e impactos futuros.

Na Figura 8, demonstra-se uma projeção de emissões em um período compreendido do ano 2000 ao 2100 (IPCC, 2007):

CENÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO PERÍODO DE 2000 - 2100 NA AUSÊNCIA DE POLÍTICAS PÚBLICAS DE CONTROLE

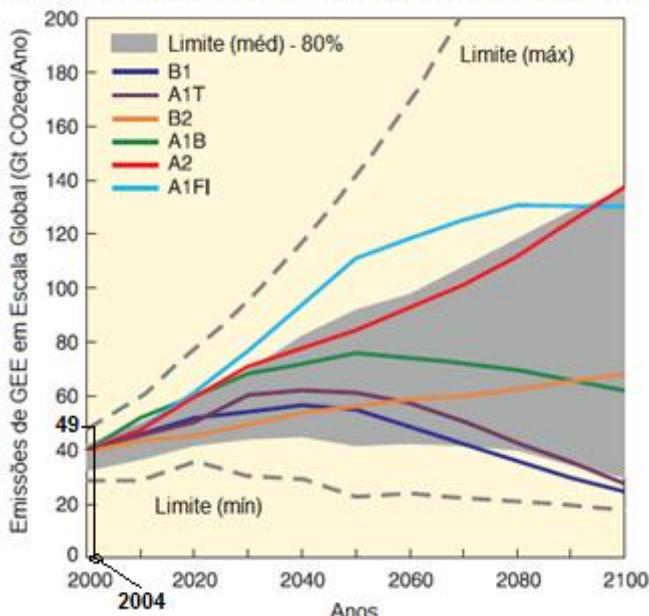


Figura 8. Cenário de Emissões de GEE no período de 2000-2100 anos. Adaptado da IPCC, 2007.

Após cinco anos da publicação do primeiro relatório de emissões de gases de efeito estufa do elaborado pelo IPCC (1990) foi criada a Conferência das Partes (COP – *Conference of the Parties*). A COP é considerada o órgão supremo da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, estabelecida em 1992. Os países signatários ou simplesmente “Partes” passaram a se reunir anualmente a partir de 1995. Neste mesmo ano, inicia-se o processo de negociação de metas e prazos específicos para a redução de emissões de gases de efeito estufa para os países desenvolvidos.

Para se estabelecer um senso de responsabilidade comum, no ano de 1997, foi assinado pela COP 3, realizada em Quito, no Japão, o Protocolo de Quioto.

O protocolo estabelece que os países industrializados tenham que reduzir suas emissões de gases de efeito estufa em 5,2%, em média, abaixo dos níveis observados em 1990, para os anos de 2008-2012 e instituiu três formas distintas para compensação das reduções de

emissões: o comércio internacional de emissões, a implementação conjunta e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

As principais exigências para os projetos de MDL consistem na diminuição das emissões dos gases de efeito estufa e no aumento do sequestro de carbono, em atividades elegíveis como produção mineral, indústria química, indústria energética, construção civil, transporte, disposição de resíduos, florestamento e reflorestamento.

No cenário nacional as principais fontes de emissões são o desmatamento (75%) e a queima de combustíveis fósseis (22%) e o restante está distribuído em: processos industriais e emissões fugitivas (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2008).

Entretanto, a última conferência das partes, a COP 19, realizada em 2013, houve uma demonstração de poucos avanços no processo de redução de emissões, em escala global. Para a COP 20, que será realizada em novembro de 2014, especialistas esperam a adoção de metas ambiciosas, uma vez que o ano seguinte é o limite para a redução de emissões.

2.2 Situação do setor da Construção Civil no âmbito das emissões

O setor da construção civil participa significativamente no processo de emissões de gases de efeito estufa. No entanto, para Koeppel e Novikova (2007) existe uma defasagem em pesquisas, em países em desenvolvimento, que visem implementar medidas para redução de emissões de gases de efeito estufa, principalmente na construção de edifícios.

O setor é responsável por mais de 40% da energia global utilizada e 1/3 das emissões globais de gases de efeito estufa, tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento (UNEP, 2009). Isso equivale a um contribuição média equivalente a 8,6 bilhões de toneladas de CO₂eq por ano (PNUMA, 2011).

Há projeções que demonstram um elevado crescimento de emissões no setor da construção civil até 2030, pois quase dobrará ao patamar de 15,6 bilhões de toneladas de CO₂eq, sendo 30% relacionado ao consumo de energia (IPCC, 2007).

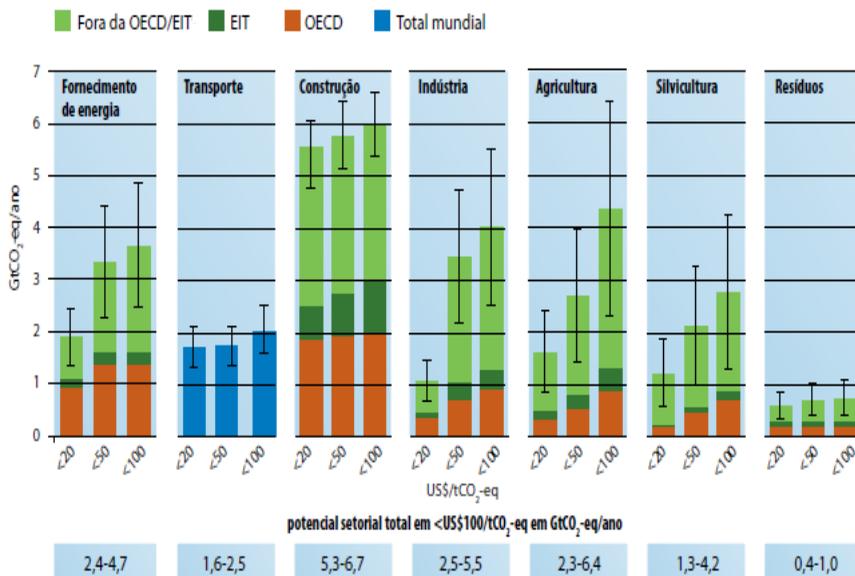
Bin e Parker (2011) destacam que o impacto ambiental relacionado à emissão de carbono pela construção civil pode ser reduzido pela metade, por meio de materiais e tecnologias eficientes. Nesse cenário, o IPCC (2007) sugere que 29% das emissões de gases de efeito estufa poderá ser evitada até 2020 sem custos significativos.

Segundo You et al (2011) em comparação com outros setores, a construção civil é a que apresenta maior potencial de redução de CO₂ a um custo relativamente baixo.

O maior potencial de redução de emissões de CO₂, nos países em desenvolvimento, está associada e eficiência na utilização de energia elétrica, enquanto que em países desenvolvidos está associada a transição do uso de combustíveis fósseis para fontes alternativas (URG-VORSATZ e NOVIKOVA, 2007)

Segundo dados do IPCC, no relatório AR4, traduz-se o potencial para reduções significativas de emissões de baixo-custo através da utilização de tecnologias mais eficazes e que já são existentes (Figura 9). Considerando a aplicação de tecnologias eficazes existentes juntamente com a evolução do fornecimento de energia renovável, prevê-se que o investimento entre US\$ 300 a 1000 bilhões de dólares, até 2050 pode resultar em uma economia de 1/3 de energia no setor da construção civil, em escala global (PNUMA, 2011).

Projeções do IPCC sobre o potencial de redução de CO₂eq em 2030



OECD: Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (Países Desenvolvidos)
EIT: Economia em transição (Países em Desenvolvimento)

Figura 9. Potencial de redução de CO₂eq por setores até 2030..

Adaptado da IPCC, 2007 e PNUMA, 2011.

Em uma escala regional a CBIC (2011) lançou estratégias de mitigação de emissões de CO₂eq, no Brasil, através da utilização racional de energia, redução na geração de resíduos, reciclagem ou reutilização de resíduos e de materiais, uso racional de da água, tratamento adequado aos efluentes, programas de eficiência energética e de sistemas de compras sustentáveis ao longo da cadeia produtiva (inclusive logística e transporte de materiais), entre outros. Esses mecanismos de controle integram o Programa Construção Sustentável, desenvolvido pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção.

De modo geral, o setor da construção civil possui participação significativa na emissão de gases de efeito estufa em toda a sua cadeia produtiva. Certamente, há uma relação direta entre consumo de energia e emissão de gases de efeito estufa. A pesquisa têm avançado sobre padrões de consumo e de emissões de gases de efeito estufa, na fabricação de produtos para a construção civil e em edifícios em operação, entretando a participação da etapa da construção demanda maiores investigações.

2.3 Situação das etapas construtivas no âmbito das emissões

A cadeia da construção civil pode ser estruturada em indústria da construção, indústria de materiais, serviços, comércio de materiais de construção, outros fornecedores e máquinas e equipamentos para construção (ARAÚJO, 2009), sendo que a da construção, em linhas gerais, contempla as etapas de planejamento, implantação, uso e desconstrução (DEGANI e CARDOSO, 2002).

Quanto à medição de emissões de gases de efeito estufa, na etapa da construção, Chen et al (2011) propõe que essa pode ser realizada em praticamente nove subetapas: construção propriamente dita, operação, instalações no canteiro de obras, transporte (logística externa e interna), montagens, tratamento de resíduos, uso das edificações, demolição e disposição final de resíduos.

Com relação as emissões de CO₂, na etapa da construção de edifícios, Lobo (2010) identifica três fases da obra com maiores participações perante as demais: Implantação, Concreto Armado e Alvenaria.

Recentemente, no país, foram divulgados no ano de 2011 e 2012 dois inventários de gases de efeito estufa, na etapa da construção. O inventário da construtora Even demonstrou que no ano de 2010 (inventário divulgado em 2011) a etapa da construção de edifícios relacionada a 32 obras apresentou a seguinte ordem de importância, no

âmbito das emissões, por fase e serviço associado: Alvenaria e Vedações, Superestrutura – concreto, Infraestrutura – fundações, Superestrutura – armações, Contrapisos – cimentados/Pavimentação. Já com base em informações técnicas obtidas em 52 obras, demonstrou-se a seguinte ordem do maior emissor para o menor: concreto, alvenaria, fundações, armações e Azulejos cerâmicos/pisos e paredes.

A primeira iniciativa para se explorar o potencial de redução de emissões, segundo Benite (2011) é o desenvolvimento de um Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do empreendimento, tanto na etapa da construção do como na de uso do edifício, baseando-se em normas e protocolos internacionais. Porém, para Sudin e Ranganathan (2002) a diversidade de práticas de contabilização de gases de efeito estufa torna difícil desenvolver inventários, pois se reduz a capacidade de comparação, credibilidade e utilidade da informação resultante.

Outro fator relevante é que a maioria dos modelos de contabilização de emissões de CO₂ se restringe a processos de fabricação de materiais de construção e a operação de edifícios (ABANDA; TAH e CHEUNG, 2012). Portanto, dados sobre contabilização de emissões na etapa da construção de edifícios, ainda são incipientes.

A Agência de Proteção Ambiental (2009) contabilizou as emissões de gases de efeito estufa, pelo consumo de combustível fóssil e compra de eletricidade, na etapa da construção, no ano de 2002. Nesse período, constatou-se uma participação de 18,4% das emissões (24,1 milhões de toneladas de CO₂eq) oriunda da construção de edificações residenciais, somente considerando o consumo de combustíveis fósseis. Há ainda de se considerar as emissões detalhadas por consumo de material e energia consumida, especificamente sobre o processo construtivo, para se alcançar um valor global.

Nesse contexto, as informações fornecidas por um inventário de gases de efeito estufa a organizações possuem o potencial de proporcionar um banco de dados para avaliação de processos, em vista a melhorias do desempenho ambiental dos processos construtivos, tendo em vista a redução de emissões de CO₂ nas atividades desenvolvidas na etapa da construção, por exemplo,

Os dados gerados pelo inventário poderão demonstrar qual fase, da etapa da construção de um edifício, possui a maior participação no valor total de emissões. Consequentemente, gera suporte para se planejar medidas de redução da quantidade de gases emitida, seja

através de tecnologias mais eficientes, processos construtivos, aplicação de métodos alternativos no consumo de recursos, entre outros.

2.4 Ferramentas de Contabilização de Emissões de Gases de Efeito Estufa

As ferramentas de contabilização de emissões de gases de efeito estufa têm o objetivo de auxiliar na elaboração de inventários de emissões de gases considerados de efeito estufa.

2.4.1 Software IPCC 2006 – Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa

O IPCC inicia a elaboração de manuais para o desenvolvimento de inventários de emissões em 1995, lançando no ano posterior uma versão revisada o “*Guidelines 1996*”. No ano de 2000 foi elaborado do Guia de Boas Práticas e Tratamento de Incertezas o GPG 2000, em seguida, em 2003, o Guia de Boas Práticas para Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas o GPG/LULUCF. Por fim, o Manual de 2006 ou “*Guidelines 2006*” considerado um guia de referência para elaboração de inventários de emissões as organizações.

Em 2013 O IPCC lançou um software orientado pelas diretrizes do *Guidelines 2006*, porém apresentou melhorias como:

- aplicação tanto em cenários abrangentes como em setores específicos;
- possibilidade em que diferentes partes do inventário sejam desenvolvidas simultaneamente;
- fornecimento de dados padrão de diretrizes do *Guidelines 2006*, permitindo aos usuários a flexibilidade para utilizar ou aplicar informações específicas de cada país.

O software é apresentado na forma de planilha eletrônica contendo cinco planilhas, que representam os setores de: Energia, Processos Industriais, Agricultura – Floresta – Uso da Terra, Resíduos e Outros.

No setor Energia há a possibilidade de contabilizar as emissões por consumo de combustível, no setor residencial. No setor de Processos Industriais, o setor da construção civil pode ser representado pela contabilização de emissões no processo de produção de cimento, de cal e vidro.

A operacionalização das estimativas de emissão se baseia nas diretrizes do *Tier 1*, da metodologia, que consiste no cruzamento de dados de atividade por fatores de emissão fornecidos pelo próprio IPCC. Esse método é recomendado na elaboração de inventários nacionais de emissões.

As diretrizes do *Tier 2*, da metodologia, se baseiam em valores específicos nacionais, por exemplo, em inventários estaduais que aplicam fatores de emissão mais apropriados. O *Tier 3* é considerado o método mais elaborado, pois utiliza meios complexos de abordagem do problema, como uso de modelagem.

Na Figura 10, demonstra-se um fragmento da planilha do setor Energia – Residencial, na versão atualizada:

The screenshot shows the IPCC Inventory Software interface. On the left, a tree view displays the 2006 IPCC Categories, with '2.A.1 - Cement production' selected. On the right, the 'Worksheet' tab is active, showing details for 'Cement Production' under the 'Capture and storage or other reduction' category. The worksheet includes a table with the following structure:

A	
Individual Type of Cement Produced	Mass of Individual Type of Cement Produced (tonne)
D	
Mass of Clinker in the Individual Type of Cement Produced (tonne)	Imports for Consumption of Clinker (tonne)

Figura 10. Parte da Planilha Setor de Processos Industriais – IPCC Inventory Software version 2.12.
Adaptado da IPCC, 2013

2.4.2 Convenção do Quadro das Nações Unidas (UNFCCC)

O software utiliza o *Tier 1* metodologias para estimar as emissões de gases de efeito estufa e remoções para todas as categorias de fontes descritas nas Diretrizes Revisadas de 1996 do IPCC . O software é baseado no software de inventário do IPCC versão 1.1, mas tem funcionalidades adicionais, não presentes no software do IPCC.



Figura 11. Fragmento da Planilha Inicial do UNFCCC, version 1.2.3.
Adaptado de UNFCCC, 2007.

De maneira similar ao software disponibilizado pelo IPCC, a ferramenta do UNFCCC realiza abordagem sobre cinco setores: Energia, Processos Industriais, Mudança no Uso da Terra e de Florestas e Resíduos. Em ambas as ferramentas não há recursos para contabilização de emissões, no setor da construção civil, pelo uso de materiais de construção ou sobre o processo de construção de edificações.

2.4.3 Análise de Ciclo de Vida (ACV)

A ACV segundo a Norma Técnica NBR ISO 14040, trata-se de uma técnica utilizada para avaliar os aspectos ambientais e os impactos associados a um produto ao longo do seu ciclo de vida, desde a extração da matéria-prima até sua disposição final.

Em um estudo de caso, nos diferentes estágios do ciclo de vida de edifícios, 98,78% são emissões de CO₂ geradas pela operação e manutenção, 1,23% das emissões consistem da produção de materiais de construção, transporte de materiais de construção, construção, demolição e destinação de resíduos, para o CH₄ 65,60% são geradas pela operação e manutenção, 33,81% pela produção de materiais de

construção e 0,59% as demais fases, enquanto que o N₂O 99,77% das emissões são oriundas da operação e manutenção e 0,23% para as outras fases (Zhang, Shen e Zhang, 2013).

No entanto, as dificuldades de implementação da ACV, na construção civil, está relacionada a a falta de informações sobre os aspectos e impactos ambientais, bem como as dificuldades financeiras, uma vez que se trata de um estudo que exige, geralmente, muitos recursos e prolonga-se por muito tempo (MIYAZATO e OLIVEIRA, 2009).

Dessa forma, Scheuer, Keoleain e Reppe (2003) destacam que é essencial a aplicação da ferramenta em uma variedade de edifícios com objetivo de se estabelecer uma base de dados, onde as ferramentas Athena TM e BEES (Building for Environmental and Economic Sustainability) têm contribuído para a padronização desses dados.

O Recipe é um software na qual reúne os principais bancos de dados da metodologia ACV. O objetivo principal da ferramenta Recipe é transformar a longa lista de resultados de um inventário do ciclo de vida, de um produto ou atividade, em um número limitado de pontuações dos indicadores (RECIPE, 2013). A ferramenta utiliza mecanismos ambientais como base para a modelagem, por exemplo, para mudanças climáticas.

O método CML 2000, baseia-se também na metodologia ACV na avaliação de impacto, como destruição da camada de ozônio (ODP), aquecimento global (GWP 100), acidificação, eutrofização, entre outros indicadores (EARTHSHIFT, 2013). Outra metodologia de ACV é o software EDIPE 2003 que representa 19 categorias de impactos ambientais, dentre elas, aquecimento global para um horizonte de 100 anos (EARTHSHIFT, 2013).

Em um estudo de um inventário de dados primários para a mesma categoria de impacto através da Análise de Ciclo de Vida pelos os métodos: ReCiPe Midpoint Hierarchist, o CML 2000 Baseline, EDIP2003 e o GHG Protocol, para comparação de Aquecimento Global, demonstrou uma variação é pequena, sendo que as três principais contribuições deste sistema de produto para a categoria de impacto analisada são praticamente idênticas (ZANGUELINI et al, 2012).

A BEES é a sigla para a Construção do Ambiente e Sustentabilidade Econômica. O software combina avaliação do ciclo e custo do ciclo de vida da construção e materiais de construção, em uma única ferramenta, considerando categorias de impacto como potencial de aquecimento global, resíduos sólidos, entre outros (EARTHSHIFT, 2013), conforme se observa, no exemplo, abaixo:

2.4.4 Programa GHG Protocol

O GHG Protocol foi desenvolvido pelo *World Resources Institute* (WRI) em associação com o *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD), além de ter sido resultante de parcerias com empresas, organizações não governamentais (ONG's), governo e outras conveniadas ao WRI e ao WBCSD.

No Brasil, o Programa Brasileiro GHG Protocol foi lançado em 12 de maio de 2008, em Brasília, através da iniciativa do Centro de Estudos em Sustentabilidade, da Fundação Getulio Vargas (FGV), e do *World Resources Institute* (WRI), em parceria com o Ministério do Meio Ambiente (MMA), o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS) e o *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD).

A principal vantagem da aplicação do Programa Brasileiro GHG Protocol (2010) é que se trata de uma ferramenta mais adaptada à realidade do país e, além disso, a metodologia é compatível com as normas da *International Organization for Standardization* (ISO), pela NBR 14064, e, com as metodologias de quantificação do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC).

Sudin e Ranganathan (2002) destacam que a diversidade de práticas de contabilização de gases de efeito estufa torna difícil desenvolver inventários, pois se reduz a capacidade de comparação, credibilidade e utilidade da informação resultante. Baseando-se na experiência e conhecimento de muitos indivíduos e organizações, o GHG Protocol visa promover a harmonização das práticas contábeis de emissões, reduzir os custos de desenvolvimento de inventário, melhora a consistência e auxilia gestores na tomada de decisão, concluem os pesquisadores.

A ferramenta se baseia em cinco princípios (PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL, 2010):

1º Relevância

Busca assegurar que o inventário reflita, com exatidão, as emissões. Um aspecto importante da relevância é a seleção de um limite de inventário adequado, que reflita a substância e a realidade econômica dos relacionamentos organizacionais. Ao escolher o limite de inventário, diversos fatores devem ser considerados, tais como:

- Estruturas organizacionais: controle operacional, propriedade, acordos contratuais, *joint ventures*, etc;

- Limites operacionais: atividades, processos, serviços e impactos no local da organização e fora dela;

- Contexto organizacional: natureza das atividades, localização geográfica, setor(es), propósito da informação e usuários da informação.

2° Integralidade

Orienta o registro e a comunicação de todas as fontes e atividades de emissão de gases de efeito estufa dentro dos limites do inventário selecionado. Todas as fontes de emissões dentro do limite de inventário escolhido precisam ser contabilizadas para que o inventário compilado seja abrangente e significativo.

3° Consistência

As informações sobre os gases de efeito estufa, para todas as operações dentro do limite de inventário de uma organização, devem ser compiladas de forma a garantir que as informações agregadas sejam consistentes e comparáveis ao longo do tempo.

4° Transparência

As informações sobre processos, procedimentos, pressupostos e limitações do inventário devem ser reveladas com transparência, isto é, de forma clara, factual, neutra e compreensível, com base em documentação e arquivos claros (em outras palavras, uma trilha de auditoria).

5° Exatidão

Os dados devem ser suficientemente precisos para permitir que os usuários tomem decisões com confiança razoável de que as informações relatadas tenham credibilidade

Os limites operacionais envolvem a identificação das emissões associadas com as suas operações, classificando-as como emissões diretas ou indiretas e selecionando o escopo para contabilização e elaboração do inventário de emissões. Segundo definições do Programa Brasileiro GHG Protocol (2010), a versão nacional do programa, sobre os limites operacionais:

1. Emissões diretas: são emissões provenientes de fontes que pertencem ou são controladas pela organização, já as indiretas são aquelas resultantes das atividades da organização que está inventariando suas emissões, mas que ocorrem em fontes que pertencem ou são controladas por outra organização. As emissões diretas são as provenientes de fontes que pertencem ou são controladas pela organização, como, por exemplo, as emissões de combustão em caldeiras, fornos, veículos da empresa ou

por ela controlados, emissões da produção de químicos em equipamentos de processos que pertencem ou são controlados pela organização, emissões de sistemas de ar condicionado e refrigeração, entre outros.

2. As categorias principais do Escopo 1 consistem na combustão estacionária para geração de eletricidade, vapor, calor ou energia com o uso de equipamento (caldeiras, fornos, queimadores, turbinas, aquecedores, incineradores, motores, fochos etc.) em um local fixo e combustão móvel para transportes em geral (frota operacional da empresa) e veículos fora de estrada, tais como os usados em construção, agricultura e florestas, entre outras.
3. O Escopo 2 contabiliza as emissões provenientes da aquisição de energia elétrica e térmica que é consumida pela empresa. A energia adquirida é definida como sendo aquela que é comprada ou então trazida para dentro dos limites organizacionais da empresa. As emissões de Escopo 2 constituem uma categoria especial de emissões indiretas.
4. Já o Escopo 3 é uma categoria de relato opcional, que permite a consideração de todas as outras emissões indiretas. As emissões do Escopo 3 são uma consequência das atividades da empresa, mas ocorrem em fontes que não pertencem ou não são controladas pela empresa diretamente, por exemplo, empresas fornecedoras de material e serviços de construção civil, para uma obra de construção de edificação residencial.

A ferramenta disponibiliza planilhas em Excel, referentes a Abas Gerais, Escopo 1, Escopo 2 e Escopo 3, conforme representação da Figura 13 abaixo:

Programa Brasileiro GHG Protocol

Abas gerais	Introdução	Resumo	Fatores de emissão	Fatores variáveis	Fatores de conversão	Menu de navegação	
Escopo 1	Combustão estacionária	Combustão móvel	Emissões fugitivas	Processos industriais	Atividades agrícolas	Resíduos sólidos	Efluentes
Escopo 2	Compra de Energia Elétrica	Compra de Energia Térmica					
Escopo 3	Categorias de Escopo 3	Transporte & Distribuição (upstream)	Resíduos sólidos gerados na operação	Efluentes gerados na operação	Viagens a negócios	Transporte & Distribuição (downstream)	

Nome da organização:

Endereço da organização:

Ano inventariado:

Nome do responsável:

Telefone do responsável:

Data de preenchimento:

Legenda de cores

- Células a serem preenchidas pelo usuário com os dados da organização
- Emissões Escopo 1 (tCO₂e)
- Emissões Escopo 2 (tCO₂e)
- Emissões Escopo 3 (tCO₂e)
- Emissões de biomassa (tCO₂)

Figura 13. Aba Inicial da Ferramenta – GHG Protocol versão nacional. Adaptado do Programa Brasileiro GHG Protocol, 2012.

Nas categorias de Escopo 3 a ferramenta disponibiliza categorias de atividades como: Transporte e distribuição, Resíduos Gerados nas Operações, Uso de Bens e Serviços Comprados, Outras Categorias de Escopo 3, entre outros.

No Escopo 1 são disponibilizadas planilhas para Processos Industriais, como o de produção de cimento, alumínio, entre outros. Neste caso, representaria a participação da etapa de transformação da construção civil, no âmbito das emissões.

De modo geral, a utilização dessa ferramenta está crescendo no país. As principais organizações produtoras de materiais de construção, como aço, cimento já aderiram a essa ferramenta na contabilização de suas emissões anuais. Além de possuir compatibilidade com a norma ISO 14064 partes 1, 2 e 3 (2007), o IPCC e alinhamento com banco de dados de emissões disponibilizados pelo Ministério de Ciência e Tecnologia e Inovação, permite o desenvolvimento de inventários de emissões de gases de efeito estufa em menor tempo e custo reduzido.

Recentemente, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) passou a exigir a elaboração de inventários de gases de efeito estufa, para empreendimentos que desenvolvem atividades como

produção de cimento, produção de cal, indústria de papel e celulose, entre outras. No seu Art. 4º da Decisão da Diretoria nº 254/2012, define que a metodologia para o cálculo das emissões estimadas poderá ser a da norma ABNT NBR ISO 14.064 -1 - Gases de Efeito Estufa ou do “GHG Protocol” ou ainda outra similar, até que a CETESB defina outra metodologia para o referido cálculo (CETESB, 2012).

Diante da necessidade da introdução de uma cultura de inventários, na etapa da construção, em específico para o Setor de Edificações, o Sinduscon-SP, em 2013, elaborou um Guia Metodológico para Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Construção Civil – Setor de Edificações. O guia se baseia nas metodologias *GHG Protocol* e ABNT NBR ISO 14.064, Parte 1, além de se basear nas orientações do IPCC (SINDUSCON-SP, 2013).

Os gases de efeito estufa mencionados acima têm diferentes potenciais de aquecimento global (GWP). O Potencial de Aquecimento Global, em inglês, Global Warming Potential, mensura o quanto determinado GEE contribui para o aquecimento global em relação ao CO₂ (PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL, 2010). Sendo o GWP do dióxido de carbono 1, o do metano 21, o do óxido nitroso 310, significa que o metano (CH₄) absorve cerca de 21 vezes mais radiação infravermelha do que o CO₂, que o óxido nitroso absorve cerca de 310, respectivamente, considerando o horizonte de tempo de 100 anos (CETESB, 2014).

A partir do potencial de aquecimento global, torna-se possível converter as emissões de CH₄ e N₂O, por exemplo, a dióxido de carbono ou a emissão de Carbono Equivalente (CO₂eq). Abaixo segue um representação do potencial de aquecimento do dióxido de carbono (CO₂), do gás metano (CH₄), do óxido nitroso (N₂O), o HFC 23 um gás fluorado também conhecido pela denominação trifluormetano e o hexafluoreto de enxofre (SF₆):

Tabela 1. Potencial de Aquecimento de alguns GEE

Gás (ou mistura de gases)	Família / Tipo	GWP	Referência
CO ₂	-	1	IPCC Second AR (1995)
CH ₄	-	21	IPCC Second AR (1995)
N ₂ O	-	310	IPCC Second AR (1995)
HFC-23	HFC	11.700	IPCC Second AR (1995)
SF ₆	-	23.900	IPCC Second AR (1995)

Adaptado da Tabela GWP do software versão 2011.3.3 do Programa Brasileiro GHG Protocol, 2012.

2.4.5 Resumo da Aplicação de Ferramentas

A seguir, demonstra-se uma análise de pontos positivos e negativos sobre metodologias de contabilização de emissões, de Costa (2012):

Tabela 2. Comparação resumida de ferramentas de contabilização de GEE

ASPECTOS POSITIVOS X ASPECTOS NEGATIVOS DAS FERRAMENTAS	
Programa: 2006 IPCC Software for National Greenhouse Inventories	
Aspectos Positivos	Permite a rápida execução de inventários de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE)
Aspectos Negativos	Não permite elaboração de inventários de processo produtivos de materiais de forma intuitiva, nem a comparação entre diferentes materiais
Planilhas: UNFCCC e GHG Protocol	
Aspectos Positivos	Permitem a execução de inventários de GEE de alguns processos produtivos (GHG Protocol) e de etapas de alguns processos produtivos (UNFCCC)
Aspectos Negativos	Não permitem a comparação entre diferentes processos produtivos ou materiais
Planilha: Athena EcoCalculator	
Aspectos Positivos	Quantifica as emissões de uma edificação de acordo com os materiais que são utilizados e a localização geográfica do edifício
Aspectos Negativos	Utiliza ACV, dados, localidades, unidades de medida, sistemas construtivos, fatores de caracterização e de normalização americanas e não permite a adição de sistemas e materiais customizados
Programa: BEES	
Aspectos Positivos	Realiza ACV do impacto ambiental e mede o desempenho econômico, comparando produtos dentro de uma mesma parte/função da edificação
Aspectos Negativos	Não permite contabilizar as emissões totais geradas pelo uso de materiais nas diversas partes da edificação e não permite a adição de sistemas e materiais customizados

Adaptado parcialmente da Tabela 3, 71-72 p., de COSTA (2012).

2.4.6 Inventário de Emissões de GEE na Etapa da Construção – Dados de Atividade

A utilização de inventários de emissões de gases de efeito estufa, no setor da construção civil ocorre de maneira progressiva. No momento, a ferramenta se concentra, com maior frequência, sobre a contabilização das emissões nas etapas de produção de materiais de

construção (transformação) e no consumo de energia elétrica em edifícios, na etapa de uso.

Watanabe (2009) defende que no setor da construção civil se criem mecanismos que minimizem as emissões de gás de efeito estufa em toda a sua cadeia produtiva.

A realização de um inventário de emissões representa o primeiro estágio, para que se determine o perfil de emissões de um produto ou processo de uma organização. Posteriormente, as informações de um inventário auxiliarão a elaboração de medidas mitigadoras como ações de redução de emissões e neutralização.

De acordo com Jeong, Lee e Huh (2012) as medidas que visam à redução de emissões de gases de efeito estufa, além de considerarem o consumo de energia e as respectivas emissões na operação e manutenção de edifícios, deverão estar direcionadas também ao uso eficiente de materiais, na etapa da construção civil.

A “setorização” de inventários na etapa da construção de edifícios, diferentemente dos inventários de emissões elaborados nas etapas de transformação, como produção de materiais de construção e operação de edifícios, caracteriza-se por apresentar uma maior complexidade. Um inventário nessa etapa abrange a contabilização de emissões pelo consumo de recursos físicos, atividades de conversão e atividades de fluxo.

Além disso, a construção de edificações envolve parâmetros dinâmicos como tipologia construtiva, diferenças de processos e emprego de energia. Portanto, considera-se um sistema complexo de avaliação.

Dimoudi e Tompa (2008) definem que avanços em materiais, técnicas e conhecimento das empreiteiras sobre a redução das emissões de carbono sobre a etapa da construção são fundamentais para a mitigação desse impacto ambiental. Para tanto, a definição detalhada de cada estágio que compõe a etapa da construção corrobora com a redução de incertezas sobre parâmetros presentes no sistema avaliado, ou seja, proporciona a geração de um banco de dados com maior precisão.

O fluxo de materiais (horizontal e vertical) nos canteiros de obras passam por diversas etapas até chegarem ao destino final como: recebimento e inspeção, estocagem, processamento e, por fim, aplicação, sendo que entre cada etapa os mesmos são transportados (PALIARI e SOUZA, 1999). Portanto, cada etapa do processo gera um dado de atividade, seja pelo próprio consumo do material, consumo de energia elétrica no seu processamento e transporte (externo e interno).

De maneira resumida, o produto dos dados de atividade pelos fatores de emissões resultam na quantidade de CO₂eq emitida.

Na etapa de coleta de dados de atividades, deve-se observar o planejamento do canteiro de obras, principalmente para se identificar os seguintes itens: locais de armazenamento de materiais; localização de betoneira, grua, guincho; localização do elevador de cargas; localização ds centrais de carpintaria e aço; pontos de içamento de fôrmas e armaduras e linhas de fluxo principais.

Os locais de armazenamento de materiais e movimentação se referem as vias de circulação, entulho, produção de argamassa e concreto, armazenamento de cimento, agregados, blocos, aço, etc (SAURIN e FORMOSO, 2006).

Nesse contexto, processos presentes em canteiros de obras, logística externa e interna de materiais, processos construtivos, levando em consideração o limite operacional do sistema avaliado, formam uma base dados de atividades que auxiliam na elaboração de um inventário de gases de efeito estufa, na etapa da construção de edifícios.

Baseado nos critérios de divisão de uma obra, para fases de uma obra perante os critérios de divisão da empresa Caixa Econômica Federal (CEF), Araújo (2009) propõe a divisão da etapa da construção de edifícios em dez fases, basicamente, similar a demonstrada na Tabela 3.

Na delimitação dessa pesquisa de mestrado, foram escolhidas as fases de supraestrutura, alvenaria e revestimento de argamassa interno (Reboco), devido a magnitude na participação de cada fase no contexto geral da obra e pela tendência de maior participação em emissões de gases de efeito estufa, neste caso para as fases de supraestrutura e alvenaria, demonstrada em inventários dos anos de 2011 e 2013, elaborados pela construtora Even, do Estado de São Paulo.

Em cada fase da obra estão elencadas as atividades relacionadas, conforme demonstrado na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3. Fases e atividades da Etapa da Construção de Edifícios

FASE DA OBRA	ATIVIDADES
Serviços Preliminares	Demolição Instalação de canteiro Limpeza superficial do terreno
Infraestrutura	Fundações Rebaixamento do lençol freático Movimentação de terra e contenções
Supraestrutura	Concreto Armado Pré-moldados
Vedações Verticais	Alvenarias Divisórias Esquadrias
Cobertura e Proteção	Telhado Impermeabilização
Revestimento	Revestimento Interno Revestimento Externo
Pintura	Pintura
Pisos	Pisos
Sistemas Prediais	Sistemas Prediais
Redes e Vias	Redes enterradas e aéreas Terraplanagem Pavimentação Drenagem superficial

2.4.6.1 Inventário de GEE – Resumo dos Dados de Atividade

A realização de inventários de emissões, com base na metodologia GHG Protocol, estabelece seis critérios básicos: definição dos limites organizacionais do inventário, definição dos limites operacionais, método de cálculo e fatores de emissão, coleta de dados das atividades que resultam na emissão, cálculo de emissões e elaboração do relatório de emissões de GEE.

A seleção de dados de atividade, na etapa de construção de edifícios, demanda o conhecimento prévio das ações envolvidas como as fases, as atividades, processos e produtos relacionados com a etapa em questão.

Entretanto, a pesquisa não busca se aprofundar sobre as fases da construção de um edifício e suas atividades relacionadas, mas gerar uma linha de orientação à aplicação da ferramenta disponibilizada pela metodologia GHG Protocol, na sua versão nacional Programa Brasileiro GHG Protocol.

Ainda, com relação ao levantamento de dados de atividade o Programa Brasileiro GHG Protocol (2010), conclui que no Escopo 1 as emissões são calculadas, na maioria dos casos, com base no dado de atividade “consumo de combustível” controlados pela organização. As emissões do Escopo 2 os dados de atividade se referem ao consumo de energia elétrica e no Escopo 3 há a possibilidades de utilização de informações setores específicos, como de cimento, ferro e aço, etc.

Porém, pelo princípio da consistência, preconizado pela metodologia GHG Protocol, caso ocorra alterações sobre limites do inventário, no método, nos dados, nos fatores de emissão que possam influenciar as estimativas de emissões, tais mudanças precisam ser documentadas e justificadas.

Dessa forma, na etapa da construção de edifícios, por se tratar de um sistema de avaliação recente, no âmbito das emissões, demanda adaptações para uma padronização na elaboração do banco de dados de atividade, bem como sobre os fatores de emissão (FE), principalmente sobre o Escopo 3.

A determinação das emissões de GEE, pela metodologia da versão nacional o Programa Brasileiro GHG Protocol, ocorre pelo produto do dado de atividade, neste caso o consumo do serviço/material de construção por um fator de emissão (FE). Na etapa da construção de edifícios os fatores de emissão são específicos, ou seja, a indústria do cimento, a indústria metalúrgica, a indústria de extração e beneficiamento de madeira, fornece fatores de emissão, geralmente gerados através das metodologias do IPCC e do GHG Protocol.

Já os fatores de emissão para blocos cerâmicos, argamassas, elementos que compõem as argamassas, entre outros, são ainda mais específicos e raros, no ramo da pesquisa, o que demanda uma maior investigação, para a elaboração de inventários de emissões de GEE.

A elaboração de um inventário de emissões de GEE, na etapa da construção de edifícios, certamente para ser completo deve considerar todas as fases que compõem a referida etapa. Já a elaboração do inventário de emissões sobre três fases, por exemplo, de Supraestrutura, Alvenaria e Revestimento de Argamassa Interno (Reboco de parede), fornece uma informação parcial das emissões de GEE do sistema avaliado.

O Programa Brasileiro GHG Protocol estimula a participação das organizações também através de inventários parciais, onde se torna possível submeter o inventário de GEE a subgrupos de operações, fontes e/ou gases, seguindo as especificações da metodologia (PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL, 2008).

2.4.7 Inventário de Emissões de GEE na Etapa da Construção – Fatores de Emissão (FE)

Segundo o Programa Brasileiro GHG Protocol o fator de emissão (FE) permite que as emissões sejam estimadas a partir de uma unidade disponível de dados de atividade, onde várias ferramentas setoriais e intersetoriais calculam seus fatores com base na metodologia ou outras ferramentas.

O IPCC, por exemplo, disponibiliza uma base de cálculo para determinação de fatores de emissão através da energia de base, massa de base e densidade de líquidos, para combustíveis fósseis ou de biomassa. A metodologia GHG Protocol e suas versões são compatíveis com a metodologia fornecida pelo IPCC. Para exemplificar segue abaixo uma determinação de FE:

$$\text{Energia de Base} = C = A * B * 44/12 * 1000 \quad \text{eq. 1}$$

Onde:

A: Valor Padrão de Teor de Carbono;

B: considerado igual a 1, ou máxima oxidação do carbono;

44: Peso Molecular do CO₂;

12: Peso Molecular do C;

1000: valor fixo.

Unidade: quilograma por tera joule (kg/TJ)

$$\text{Massa de Base} = \frac{\text{Poder calorífico inferior} * \text{Energia de Base}}{1000} \quad \text{eq. 2}$$

Onde:

Poder calorífico inferior dado em terajoule por gigagrama (TJ/Gg);

Energia de Base dado em quilograma por terajoule (kg/TJ).

$$\text{Fator de emissão (FE)} = \frac{\text{Massa de Base}}{1000} * \text{densidade}$$

Na elaboração de inventários de emissões de GEE é frequente a utilização dos fatores de emissão disponibilizados pela própria ferramenta de cálculo ou a aplicação de fatores de emissão específicos de processos de produção. Reforça-se que a utilização desses FE específicos, ou seja, não disponibilizados pela metodologia GHG Protocol, deverão ser justificados.

2.4.7.1 Fatores de Emissão (FE) da Construção Civil

A abordagem a seguir visa direcionar os fatores de emissão de materiais de construção nas fases da obra, que consistem em: Supraestrutura, Alvenaria e Reboco, que compõem as etapas construtivas consideradas na presente pesquisa.

A determinação de um fator de emissão específico, na maioria dos limites operacionais determinados, engloba a participação da energia consumida no processamento, o transporte do local de extração da matéria-prima a planta de beneficiamento e transportes internos. No entanto, esse sistema representa uma avaliação sobre a etapa de transformação ou de processamento de matéria-prima, do setor da construção civil.

Dessa forma, buscou-se dinamizar esse tópico tendo como foco principal as emissões de gases de efeito estufa na etapa da construção de edifícios.

2.4.7.1.1 Cimento

As emissões de CO₂ provenientes do processo de produção do cimento, que ocorrem dentro do forno de calcinação do clínquer são significantes para o processo de produção do cimento. De acordo com IPCC (2006) o fator de emissão de CO₂ conhecendo-se os teores de CaO e MgO do clínquer é de 0,52 tCO₂/t clínquer ou 520 kg CO₂/t clínquer, enquanto que CSI (2005) adota um fator de emissão de 0,525 tCO₂/t clínquer ou 525 kg CO₂/t clínquer. Na Tabela 4 segue um resumo dos fatores de emissão oriundos da calcinação do clínquer.

Tabela 4. Fator de emissão de referência de CO₂ na produção de clínquer

Refêrencia	Fator de emissão (kg CO₂/t clínquer)
CSI (2005)	525
ACIF (CSI, 2005)	518
APCA (CSI, 2005)	522
HOLCIM GROUP (CSI, 2005)	524
IPCC (2006a)	520
CETESB (2010)	542
ABCP e SNIC (2010)	545
LIMA (2010)	520

Nota: Cement Sustainability Initiative (CSI) – Australia Cement Industry Federation (ACIF) – American Portland Cement Association (APCA) – Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) – Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

Para os casos das plantas que não possuem dados específicos sobre os teores de CaO e MgO contidos no clínquer, pode ser aplicado o fator de emissão da metodologia CSI (2005) de 0,525 t MgO, sugerido tanto pela CSI (em torno de 2%) quanto pelo IPCC (2006), entre 1 e 2% de ajuste do valor. O valor é semelhante ao do FE de referência utilizado pelo IPCC (2000), de 0,51 tCO₂/t clínquer, se a ele for acrescentada a correção relativa ao conteúdo de MgO (2% x 1,0918 = 0,022tCO₂ /t clínquer) (CETESB, 2010). Segundo a MCT (2010) as estimativas de emissões calculadas com as duas metodologias, CSI (2005) e IPCC (2006) são compatíveis entre si. A emissão de CO₂ por descarbonização do calcário, no processo de produção de cimento, segundo Harbet et al. (2009) é de 0,53 tCO₂/ t clínquer. De maneira geral os fatores de emissão do clínquer apresentados são aproximados.

Para Lima (2010) a estimativa do teor de clínquer no cimento nacional é difícil, principalmente devido à existência de valores discrepantes, ainda com relação às adições, como material pozolânico, escória de alto forno, material carbonático, as informações no Brasil são dispersas e incompletas, bem como os teores aplicados pelo setor cimenteiro.

Na existência de dados sobre uma planta de calcinação para a produção de clínquer, torna-se possível obter um fator de emissão rigoroso para o clínquer, por meio de calibrações constantes referentes às entradas de carbonatos (IPCC, 2006). Segundo CETESB (2010) a

partir do conhecimento das frações de CaO e MgO do clínquer, obtida por análises químicas em cada fábrica produtora de cimento, chega-se ao fator de emissão relacionado ao processo de descarbonatação ($t\ CO_2/t$ clínquer).

Lima (2010) em uma análise bibliográfica sobre fator de emissão de CO_2 na produção do clínquer, definiu o fator de emissão igual a $520\ kgCO_2/t$ clínquer $\pm 3,9\%$, que pode ser utilizado em cálculos relativos a realidade nacional e que são referentes as emissões de CO_2 por decomposição do calcário. Com relação à quantidade de CO_2 emitida por massa de cimento produzido, destacam-se os seguintes indicadores apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Fator de emissão de referência de CO_2 na produção de cimento

Refêrencia	Fator de emissão ($t\ CO_2/t$ cimento)
LAFARGE (2011)	0,606
WBCSD Cement (2010) - Brasil	0,592
WBCSD Cement (2010) - Mundo	0,655
LIMA (2010)	0,659
VOTORANTIM (2010)	0,669
HARBERT (2009)	0,601
CETESB (2010)	0,306
ABCP e SNIC (2010)	0,371

Nota: As referências ABCP e SNIC estão presentes no relatório técnico referente ao segundo inventário nacional de emissões desenvolvido pelo Ministério de Ciência e Tecnologia, 2010.

2.4.7.1.2 Agregados

O concreto de cimento portland utiliza, em média, por metro cúbico, 42% de agregado graúdo (brita), 40% de areia, 10% de cimento, 7% de água e 1% de aditivos químicos, ou seja, cerca de 70% do concreto é constituído de agregados (VALVERDE, 2001). De acordo com Lima (2010) os agregados representam cerca de 70% a 80% da massa do concreto.

O agregado miúdo representa o material cujos grãos passam pela peneira 4,8mm e ficam retidos na peneira 0,075mm, sendo areia e o pedrisco (NBR-7211, 2005). Já o graúdo é retido na peneira 4,8mm e passa pela peneira 152mm, britas e seixo rolado (NBR-7211, 2005).

Segundo Lima (2010) não existe um balanço energético para agregados que permita se estimar as emissões, pois o segmento possui informações pouco consistentes relativas às produções de areia e pedra.

Marcos (2009) através da utilização da ferramenta Building Information Model – ArchiCAD, ou simplesmente BIM – ArchiCAD, como método de análise de emissão de CO₂, sobre o quantitativo da energia incorporada a materiais de construção, estimou para os agregados areia um fator de emissão de 0,00583 kgCO₂/kg e para brita 0,01546 kgCO₂/kg.

Bath (2011) estimou um fator de emissão geral para agregados, com base na ferramenta AggRegain, elaborada pela Working Together for a World Without Waste (WRAP), que se aproxima de uma ferramenta baseada em Análise de Ciclo de Vida. O fator de emissão 0,0052 kgCO₂/kg considerada o carbono embutido ao material pelo uso de energia consumida através de combustível da indústria presente na União Européia (BATH, 2011).

Costa (2012) através do método desenvolvido QE-CO₂, estimou um fator de emissão de 0,0861 kgCO₂/kg de agregado miúdo e 0,0858 kgCO₂/kg de agregado graúdo. O Método QE-CO₂ consiste na multiplicação da quantidade de produto utilizado na obra pelo fator de perda e pelo somatório das emissões geradas pelo consumo de energia e pelo transporte (COSTA, 2012).

2.4.7.1.3 Argamassa de Cimento – Cal – Areia

Bath (2011) atribui a mistura de cimento, cal e areia, em um traço 1:1:6, um fator de emissão equivalente a 0,174kgCO₂/kg.

2.4.7.1.4 Concreto

Com base em levantamentos de emissões de cimento, areia e pedra britada Lima (2010) estimou uma referência de emissão média para o concreto de 225 kgCO₂/m³ +/- 19,1%. A emissão unitária do concreto considerou as emissões pelo uso de cimento e agregados.

Para um concreto com resistência entre 25MPa a 30MPa, Bath (2011) determina um fator de emissão equivalente a 0,113 kgCO₂/kg. A densidade do concreto armado equivale a 2.500 kg/m³ (NBR-6120, 1980). Assim, estima-se um fator de emissão igual a 282,5 kgCO₂/m³ de concreto. Costa (2012) determinou um fator de emissão de 387 kgCO₂/m³ de concreto com resistência de 30MPa, na situação de uso de cimento CP-II-F-32.

2.4.7.1.5 Madeira (Fôrma)

O processo produtivo da madeira serrada é constituído por quatro etapas: extração das árvores, transporte entre floresta e serraria, processamento das toras em produtos serrados e transporte da madeira serrada ao mercado consumidor (CBCS, 2012). Já o processo produtivo da fôrma contempla as seguintes etapas: recebimento, transporte, corte, montagem, transporte, montagem, desmontagem e transporte.

Através da metodologia de Marcos (2009), obteve-se um fator de emissão equivalente a 0,131 kgCO₂/kg, que diante da densidade de 634 kg/m³, para umidade de 12%, da madeira de pinus (*Pinus elliottii*), determinada por Palermo et al. (2004), equivale a 87,33 kgCO₂/m³.

Em um estudo sobre emissões de CO₂ pelo transporte de madeira serrada da Amazônia Campos, Punhagui e John (2011) consideraram a densidade da madeira serrada entre 520 kg/m³ a 1.090 kg/m³, com mediana de 790 kg/m³, em umidade entre 12% a 15%.

Bath (2011) estima uma emissão geral para madeira igual a 0,72 kgCO₂/kg, ou seja, considerando a densidade determinada por Palermo et al (2011), obtém-se um valor correspondente igual a 480kgCO₂/m³. Costa (2012) fornece o fator de emissão diretamente pelo volume de madeira, que corresponde a 404,6kgCO₂/m³.

2.4.7.1.6 Aço (Armadura)

Os aços para concreto armado são empregados como produto ou processo de componentes estruturais, tais como sapatas, pilares, vigas e lajes, onde as armaduras têm como função principal absorver as tensões de tração e cisalhamento e aumentar a capacidade resistente das peças.

A produção de concreto armado convencional (não protendido), segundo o dados estimados de referência de Lima (2010) consome uma faixa de vergalhão em concreto armado na ordem de 80 a 110 kg/m³.

Até 75% das emissões de CO₂ oriundas da fabricação do aço ocorrem durante a produção de ferro-gusa no alto-forno, ou seja, na etapa de redução do minério de ferro e o restante resulta do transporte de matérias-primas, da geração de energia elétrica e calor (CETESB, 2011).

De acordo com IPCC (2006) o fator de emissão da produção de aço – BOF (*Basic Oxygen Furnace*) corresponde a 1,46 tCO₂/t aço. Cestesb (2009) adotou o fator de emissão da produção de aço – BOF de 1,46 tCO₂/t aço, em seu inventário de emissões ds fontes estacionárias

do Estado de São Paulo. E, Bath (2011) disponibiliza o mesmo fator de emissão de 1,46 tCO₂/t aço, porém com uma porcentagem de aço reciclado embutida.

2.4.7.1.7 Poliestireno Expandido (EPS)

O poliestireno expandido ou isopor é aplicado cada vez mais em estruturas de laje nervurada, na forma de blocos de EPS, em diferentes dimensões.

A densidade média desse material é igual a 16kg/m³ (NBR-11752, 2007). Enquanto que o fator de emissão, segundo Bath (2011) corresponde a 3,29 kgCO₂/kg.

2.4.7.1.8 Bloco Cerâmico Furado

As emissões relacionadas ao processo de produção de bloco cerâmico são resultantes da calcinação de carbonatos na argila e material carbonoso, que quando aquecidos a altas temperaturas produzem óxidos e CO₂ (COSTA, 2012). Segundo o autor o fator de emissão, em um cenário básico de sua metodologia, consiste em 0,111kgCO₂/kg de produto. Bath (2011) adota um fator de emissão geral equivalente a 0,24 kgCO₂/kg.

2.4.7.1.9 Argamassas

Os fatores de emissão relacionados às argamassas de assentamento e revestimento interno (reboco) são representados pelos FE do cimento, agregados e cimento+cal+areia. A quantidade total emitida pelo consumo dos componentes da argamassa está intimamente relacionada ao traço de cada argamassa, conforme sua função.

Por se tratar de um sistema de mistura cada componente deve ser analisado separadamente, para posteriormente ser integrado num todo de emissões.

2.4.7.2 Resumo dos Fatores de Emissão (FE)

Por consumo de Material de Construção, demonstra-se na Tabela 6:

Tabela 6. Fator de emissão de CO₂ relacionado aos materiais de construção

Identificação	Fonte (FE)	Unidade	Valor
Concreto ¹	Lima (2010)	kgCO ₂ /kg	0,0900
	Bath (2011)	kgCO ₂ /m ³	0,1130
	Costa (2012)	kgCO ₂ /m ³	0,1548
Madeira	Marcos (2009)	kgCO ₂ /kg	87,330
	Bath (2011)	kgCO ₂ /kg	480,000
Aço (Armadura e Escora)	IPCC (2006)	kgCO ₂ /kg	1.460,00
	CETESB (2009)	kgCO ₂ /kg	1.460,00
	Bath (2011)	kgCO ₂ /kg	1.460,00
EPS	Bath (2011)	kgCO ₂ /kg	3,290
Bloco Cerâmico	Bath (2011)	kgCO ₂ /kg	0,240
	Costa (2012)	kgCO ₂ /kg	0,111
Cimento	Lima (2010)	kgCO ₂ /kg	0,659
Areias	Marcos (2009)	kgCO ₂ /kg	0,0058
Cimento, cal e areia	Bath (2011)	kgCO ₂ /kg	0,174

¹ Densidade do concreto 2.500 kg/m³ de concreto (NBR ISO 6120)

O fator de emissão do concreto em volume consiste em: 225 kgCO₂/m³ de concreto (LIMA, 2010), 282,5 kgCO₂/m³ (BATH, 2011) e 387 kgCO₂/m³.

Na Tabela 7 a seguir, demonstra-se uma referência de densidade aparente dos principais materiais de construção utilizados nas fases da construção, como supraestrutura, alvenaria e revestimento interno (Reboco), que compõem o objeto dessa pesquisa.

Tabela 7. Densidade Aparente de Referência

Identificação	Fonte (Densidade)	Unidade	Valor	Aplicação
Madeira - Pinus	Palermo et al (2004)	kg/m ³	634,00	Tábua de Fôrma
Madeira - Eucalipto	Ferreira ¹ ; Freitas e Ferreira ² (1979)	kg/m ³	422,00	Escora
EPS	ABNT NBR 11.752 (2007)	kg/m ³	16,00	Bloco de Laje
Areia Média Fina	Fabricante (2013)	kg/m ³	1.470,00	Argamassa
Areia Fina	Fabricante (2013)	kg/m ³	1.300,00	Argamassa
Cimento, cal e areia	Adaptado de Silva (2006)	kg/m ³	1.957,00	Argamassa

Por consumo de Energia Elétrica, demonstra-se na Tabela 8:

Tabela 8. Fator de emissão relacionado ao consumo de energia elétrica em 2013

Fator de Emissão Médio (tCO ₂ /MWh) - MENSAL												
2013	MÊS											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
	0,6079	0,5958	0,5896	0,6010	0,5830	0,6080	0,5777	0,5568	0,5910	0,5891	0,6082	0,6102

Adaptado de MCTI (2014)

Destaca-se que a média do FE no ano de 2013 corresponde a **0,5932 kgCO₂/kWh**.

O fator de emissão pelo uso de energia elétrica permite estimar as emissões de CO₂ pelo uso de máquinas e equipamentos elétricos utilizados, nas fases de supraestrutura, alvenaria e revestimento de argamassa interno, por exemplo.

Por consumo de combustível, demonstra-se na Tabela 9:

Tabela 9. Fator de emissão de CO₂ relacionado ao combustível

Identificação	Fonte (FE)	Unidade	Valor	Tipo de Fonte
Combustível Diesel*	Programa Brasileiro GHG Protocol (2012)	kg/litro	2,6710	Móvel
Combustível Biodiesel	Programa Brasileiro GHG Protocol (2012)	kg/litro	2,4991	Móvel
Combustível Diesel	Programa Brasileiro GHG Protocol (2012)	kg/litro	2,6000	Estacionária
Combustível Biodiesel	Programa Brasileiro GHG Protocol (2012)	kg/litro	2,3000	Estacionária

* Considera-se adição de 5% de Biodiesel no combustível diesel.

2.4.8 Neutralização de CO₂: Uma oportunidade na etapa da construção de edifícios

A redução e remoção (neutralização) de gases de efeitos estufa, na unidade de CO₂eq, são considerados mecanismos de desenvolvimento limpo, perante as resoluções do Protocolo de Quioto, do ano de 1997.

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) foi criado pela Conferência das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change*) como uma maneira de ajudar os países

a cumprirem as metas do Protocolo de Quioto (INSTITUTO CARBONO BRASIL, 2014).

O objetivo do MDL consiste em reduzir emissões de gases de efeito estufa através de projetos implantados em países em desenvolvimento, como o Brasil, onde cada tonelada de CO₂ evitada ou removida da atmosfera se transforma em uma unidade de crédito de carbono, chamada Redução Certificada de Emissão (RCE) (INSTITUTO CARBONO BRASIL, 2014). A proposta é que um projeto de MDL gere além de um benefício ambiental (redução ou remoção de CO₂) um ativo financeiro, transacional, a RCE (MCT, 2009).

De maneira geral a compreensão do objetivo da implantação de projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo consiste em garantir que uma etapa, fase, atividade ou processo desenvolvido não ultrapasse uma determinada linha de base de emissões. A diferença entre a linha de base pela quantidade emitida resulta na quantidade reduzida de emissões ou a adicionalidade. Na Figura 14, segue uma representação gráfica da análise de redução de emissões em projetos de MDL:

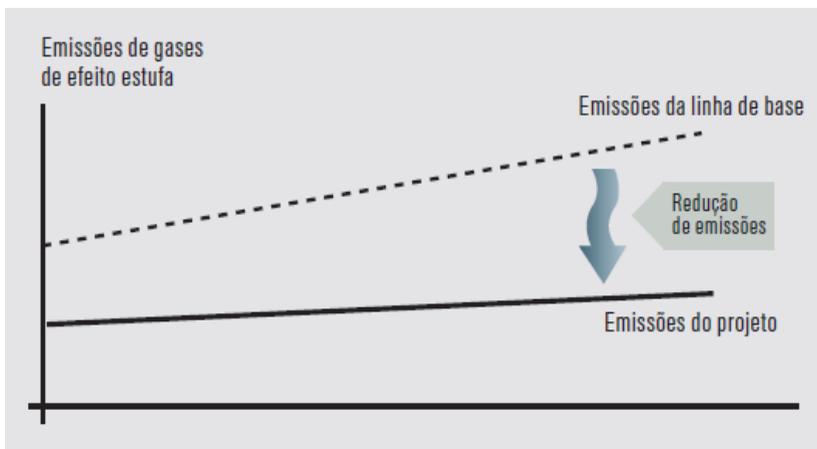


Figura 14. Representação da Linha de Redução Líquida de Emissões
Fonte: MCT (2009)

No Brasil a Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, instituiu a criação da Política Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC). Dentre os seus princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos, destaca-se como um meio de proporcionar sustentabilidade ambiental e

benefício econômico, a etapa da construção de edifícios, por exemplo, as seguintes diretrizes, presentes na referida lei:

- O estímulo e o apoio à participação dos governos federal, estadual, distrital e municipal, assim como do setor produtivo, do meio acadêmico e da sociedade civil organizada, no desenvolvimento e na execução de políticas, planos, programas e ações relacionados à mudança do clima;
- O apoio e o fomento às atividades que efetivamente reduzam as emissões ou promovam as remoções por sumidouros de gases de efeito estufa.

Com relação aos instrumentos da lei:

- As medidas fiscais e tributárias destinadas a estimular a redução das emissões e remoção de gases de efeito estufa, incluindo alíquotas diferenciadas, isenções, compensações e incentivos, a serem estabelecidos em lei específica;
- As linhas de crédito e financiamento específicas de agentes financeiros públicos e privados;
- Os indicadores de sustentabilidade;
- O estabelecimento de padrões ambientais e de metas quantificáveis e verificáveis, para a redução de emissões antrópicas por fontes e para as remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa

Nesse contexto, a norma ABNT NBR ISO 14064 – Parte 2 – Especificação e orientação a projetos para quantificação, monitoramento e elaboração de relatórios das reduções de emissões ou da melhoria das remoções de gases de efeito estufa, pode ser considerada uma linha de referência na elaboração de projetos baseados nos princípios do MDL.

Para Antunes e Qualharine (2008) quanto ao benefício de uso da norma ABNT NBR 14064 – Parte 2 destaca-se: o aumento da credibilidade de relatórios de projetos de gerenciamento de GEE e facilita a geração e comercialização de créditos de carbono derivados de redução ou remoção de CO₂.

3. MÉTODO DE PESQUISA

A pesquisa desenvolvida possui uma natureza aplicada, com uma abordagem quantitativa do problema, de finalidade exploratória através dos seguintes procedimentos: Estudo de Caso, Documental e Bibliográfico.

3.1 Limites da Pesquisa

A determinação dos limites do sistema de avaliação, bem como seus sub-sistemas, visa proporcionar a acurácia dos dados levantados.

3.1.1 Sistema Geral de Avaliação

O sistema geral de avaliação elaborado (Figura 15) foi aplicado na etapa da construção, onde constam três sub-sistemas: Obras, Fornecedores de materiais e serviços para construção e Emissões de dióxido de carbono representado pelo símbolo CO₂.

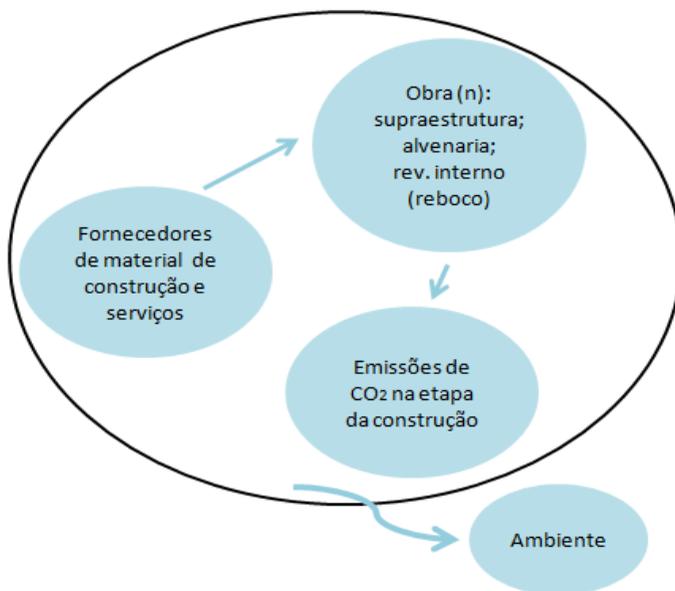


Figura 15. Sistema Geral de Avaliação e Sub-sistemas.

O sistema geral de avaliação foi estruturado considerando quatro limites básicos a operacionalização dos dados de pesquisa, são eles:

- a) Geográfico: raio de 100 quilômetros da obra, tendo como área de influência direta a Região da Grande Florianópolis-SC;
- b) Organizacional: a construtora/obra responde por todas as emissões quantificadas das instalações sobre a qual tenha controle operacional ou financeiro;
- c) Operacional:
 - Escopo 1 (emissões diretas – controlada pela organização “Obra/Construtora”: por consumo de material de construção, consumo de combustível);
 - Escopo 2 (emissões indiretas – controlada pela organização: por consumo de energia elétrica para produção das atividades presentes nas fases da construção pré-determinadas) e;
 - Escopo 3 (emissões indiretas “Fornecedores”- não controlada pela empresa: emissões decorrentes de atividades realizadas por empresas fornecedoras de materiais e serviços de contração).
- d) Ano-Base: 2013, ou seja, determina-se o ano de 2013 como o de referência para futuras comparações de emissões, na etapa específica;
- e) Número de Obras Avaliadas: 06 (seis), conforme demonstrado no item 3.3 do Método de Pesquisa.

3.1.2 Sub-sistema de Avaliação

- a) Obra: os dados de atividade levantados nas obras foram obtidos em três fases da etapa da construção: Estrutura (Supraestrutura); Alvenaria de vedação e Reboco interno. Adotou-se como referência para medições as unidades identificadas nessa pesquisa em na obra pela denominação de Pavimentos Tipo, de cada edifício avaliado.
- b) Fornecedor de material de construção e serviços: Na fase de estrutura representam os fornecedores de concreto usinado, madeira para produção de fôrmas, aço para produção de armaduras, tijolo para laje ou tavela, blocos de EPS (Poliestireno expandido) para laje, laje pré-fabricada. Destaca-se que a tipologia de laje varia entre obras, ou seja, os materiais de construção aplicados podem apresentar combinações diferentes. Na fase de Alvenaria representam os fornecedores de bloco cerâmico, cimento, agregados miúdos. Já o Revestimento de Argamassa Interno (Reboco)

são os fornecedores de areia fina, areia média, cimento e cal, ou ainda uma mistura de areia fina e cal (erroneamente chamada de argamassa pronta ou mista). Destaca-se que nessa fase de reboco há a possibilidade de fornecimento de argamassa de revestimento pronta, ou seja, o fornecedor disponibiliza o produto em caminhões betoneiras, a exemplo do que ocorre para o fornecimento concreto usinado.

- c) Emissões de CO₂: trata-se de uma abordagem puramente quantitativa, onde os dados de consumo de materiais de construção, consumo de combustível no transporte desses materiais, no interior do canteiro de obras, entre outras fontes de emissão, são confrontados com fatores de emissão disponibilizados pela versão brasileira da Metodologia GHG Protocol, inventário de emissões de Carbono, desenvolvido pela *University of Bath*, no ano de 2011, entre outras. Procurou-se dessa forma determinar as emissões de CO₂ por metro cúbico de material de construção consumido e por metro quadrado construído, tendo como referência os pavimentos Tipo e as fases de supraestrutura, alvenaria e revestimento de argamassa interno (reboco de parede).

3.2 Coleta de Dados

3.2.1 Sub-sistema Obra

O subsistema Obra compreende a coleta de dados de edificações residenciais multifamiliares, predominantemente de padrão médio, com em média 11 pavimentos tipo sobre as fases de Estrutura, especificamente a supraestrutura composta pelos elementos estruturais laje, viga e pilar; Alvenaria Convencional, ou seja, com aplicação de blocos cerâmicos e, por fim, a de Revestimento Interno, o Reboco de paredes. O consumo de materiais de construção civil e serviços relacionados às fases supracitadas, bem como suas derivações são demonstrados nos fluxogramas a seguir:

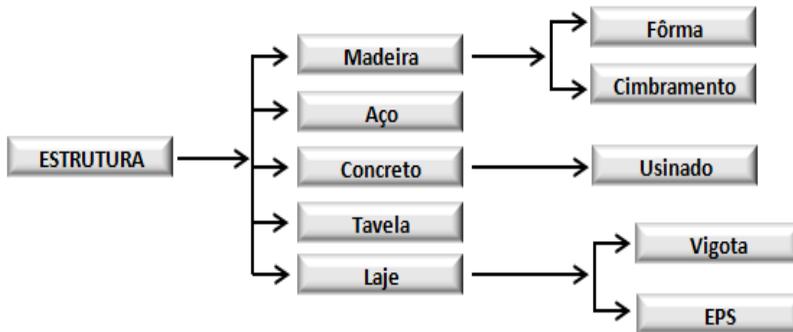


Figura 16. Sub-sistema Estrutura e suas derivações de consumo de materiais e serviço.

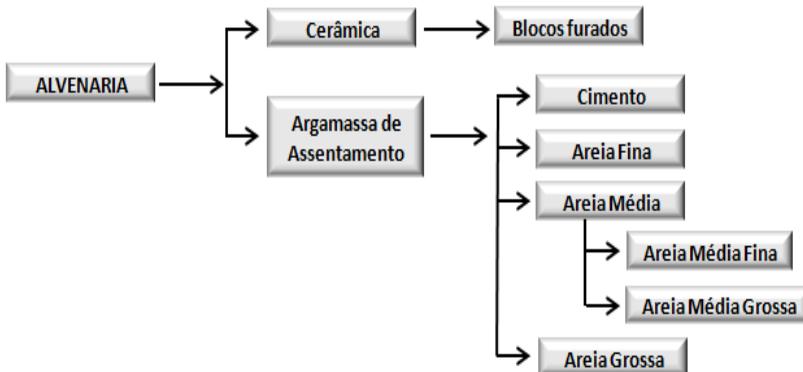


Figura 17. Sub-sistema Alvenaria e suas derivações de consumo de materiais.

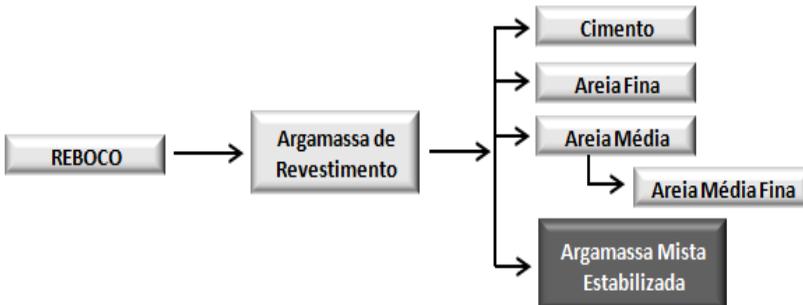


Figura 18. Sub-sistema Reboco e suas derivações de consumo de materiais e serviço.

A coleta de dados de consumo de materiais de construção civil e serviços relacionados foram obtidos da seguinte forma:

1ª Estrutura:

- Madeira: foi levantada a área média total de fôrma para produzir os elementos estruturais laje, pilar e viga de uma unidade de medição, ou seja, pavimento tipo, por meio da consulta de registros de obras e/ou projetos estruturais. Os registros de obras podem ser notas fiscais e/ou diários de obras, que são documentos juntamente com os projetos estruturais, ou seja, apresentam todos os quantitativos de materiais projetados, do primeiro pavimento tipo ao último, como para garagens, ático, etc. Para determinação do volume aplicado de fôrmas multiplicou-se a área média total pela espessura média das tábuas ou chapas de madeira. Posteriormente, com base na densidade da madeira utilizada determinou-se a massa (kg) total média da madeira utilizada. O objetivo consiste em dimensionar a quantidade média de viagens do fornecedor a obra com base na capacidade de carga do caminhão;
- Escora: foi levantado o número de peças de 03 (três) metros, área média total das escoras e a densidade da madeira utilizada, em caso de escora de madeira. Para determinação da massa em (kg) de escoras aplicadas multiplicou-se a área média total da circunferência pela altura da escora de madeira, posteriormente, pela densidade da madeira utilizada. No caso de escoras de aço, em todas as consultas os fabricantes forneceram o peso unitário da peça, que varia de 10kg a 14kg, geralmente 12kg. O objetivo consiste em dimensionar a quantidade de viagens médias do fornecedor a obra com base na capacidade de carga do caminhão;
- Aço: Foi levantado o consumo total médio de aço para fase de supraestrutura para os elementos estruturais: laje, viga e pilar, de um pavimento tipo, independentemente das bitolas das barras de aço, através de consulta ao diário de obras e/ou projetos estruturais. A unidade de aço utilizada na produção

da estrutura de concreto armado é o quilograma (kg). Portanto, com base na capacidade nominal de carga do caminhão, em unidade de massa, determina-se o número de viagens de fornecimento desse material a obra;

- Concreto Usinado: Foi levantado o consumo médio total de concreto usinado aplicado em um pavimento tipo, por meio do controle da quantidade aplicada no ato da concretagem. Neste caso, o concreto preenche todos os elementos estruturais. O tempo de concretagem, os códigos do caminhão betoneira e caminhão bomba, o ponto de partida e de chegada foi obtido *in loco*, no ato da concretagem. Dados como consumo de combustível dos caminhões por rodagem e por bombeamento, bem como a distância percorrida pelos caminhões betoneiras e bomba, foram obtidos via registros da concreteira;
- Tabela: determinou-se o consumo médio de tabelas, de um pavimento tipo, através de registros da construtora, como por exemplo, as notas fiscais. Com base na quantidade de tabelas utilizada na laje, de um pavimento tipo, diante da capacidade nominal do caminhão que transportou tal material de construção, determina-se no número de viagens necessárias ao fornecimento. O mesmo método foi aplicado a lajes com aplicação de EPS. Portanto, com base na capacidade nominal de carga do caminhão, especificada nos manuais técnicos por unidade de massa, determinou-se o número de vezes de fornecimento desse material a obra. Destaca-se que para o EPS deve-se levar em conta tanto a massa (kg) conforme capacidade de carga do caminhão, bem como o volume total médio permitido, conforme altura máxima permitida da carga;
- Laje: Determinou-se o número médio total de laje pré-fabricada como vigotas, entre outras, fornecidas, de um pavimento tipo, através de registros da construtora, como por exemplo, as notas fiscais. Portanto, com base na capacidade nominal de carga do caminhão, em unidade de massa, determina-se o

número de vezes de fornecimento desse material a obra.

2ª Alvenaria Convencional:

- Bloco Cerâmico (tijolo furado): Em uma amostra $n=10$, ou seja, dez paredes sem esquadrias, de diferentes pavimentos tipos, de cada obra, contendo blocos com oito furos determinou-se o número de blocos assentados em uma área equivalente a um metro quadrado (m^2). O método consiste em desenhar com um marcador, giz, por exemplo, na parede um quadrado nas dimensões de 1 metro por 1 metro e, posteriormente, efetuar a contagem de blocos inseridos nesse quadrado, sejam eles inteiros ou fracionados. Com base na altura do pé direito e na quantidade linear de paredes, obtida através dos projetos arquitetônicos do pavimento tipo, fornecidos pelas construtoras, tornou-se possível determinar a quantidade total de blocos utilizados para edificação de um pavimento tipo. A diferença entre a área do polígono da área total de blocos inseridos no polígono fornece a quantidade de argamassa de assentamento aplicada em m^2 . Sabendo todas as dimensões do bloco cerâmico se torna possível determinar a área e o volume de argamassa de assentamento aplicado em construído. Há também a possibilidade de se obter o total de blocos aplicados através de controles e registros realizados pelas construtoras, bem como o total de argamassa de assentamento aplicado (controle mais raro);
- Argamassa de Assentamento: Com exceção de uma obra todas as demais obras avaliadas usaram argamassa de assentamento “virada em obra”, ou seja, produzida no próprio canteiro de obras. Dimensionou-se o volume de argamassa de assentamento presente em uma área de m^2 de alvenaria, posteriormente, com base no projeto arquitetônico do pavimento tipo, determinou-se a quantidade total média de argamassa de assentamento. Em continuidade, obteve-se o traço da argamassa de assentamento de cada obra, destacando que o traço comum em todas corresponde a 1:6. O cimento

equivale a um saco de 50kg já a dosagem dos agregados ocorre por padiolas nas dimensões 33x33x42cm ou baldes de 18 litros (0,018m³). Em uma virada realizada em betoneiras de 400 litros, preenchidas até 80%, de sua capacidade nominal, a argamassa de assentamento resultante preenche completamente 02 (dois) carrinhos cuja cubagem equivale a 0,14m³ cada ou 03 carrinhos cuja cubagem equivale a 0,086 cada, ou seja, uma virada produz, em média para ambos os tipos de carrinho 0,260m³ de argamassa de assentamento. Para finalizar, com base nas informações apresentadas, tornou-se possível, através da quantidade total média de argamassa de assentamento aplicada em um pavimento tipo, determinar o número de viradas ou misturas realizadas na betoneira e, com isso, as quantidades totais de cimento, areia fina, areia média fina, areia média grossa ou areia grossa, conforme padrão de mistura estabelecido em cada obra. Com base na quantidade de cada material de construção utilizado na produção da argamassa de assentamento, de um pavimento tipo, diante da capacidade nominal do caminhão que transportou tal material, determinou-se no número de viagens necessárias ao fornecimento.

3º Reboco:

- Argamassa de Revestimento: Em uma amostra n=10, ou seja, dez paredes, de diferentes pavimentos tipos, de cada obra, determinou-se o volume de argamassa de revestimento para preencher toda a área de uma parede aleatória. Com aplicação de teste de normalidade *Kolmogorov-Smirnov* se obteve a média do volume de argamassa de revestimento por metro quadrado rebocado. Considerou-se, por simplificação, que todo o resíduo de argamassa retorna ao recipiente de aplicação, portanto, não foi considerada a perda incorporada. Com base no projeto arquitetônico do pavimento tipo se determinou o volume total de argamassa de revestimento utilizada. Em continuidade, obtém-se o traço da argamassa de revestimento de cada obra, destacando que o traço mais comum corresponde a 1:5, porém há 1:6. O

cimento equivale a um saco de 50kg já a dosagem dos agregados , agregados + cal (a chamada argamassa pronta) ocorre por padiolas nas dimensões 33x33x42cm ou baldes de 18 litros (0,018m³). Em uma virada realizada em betoneiras de 400 litros, preenchidas até 80%, de sua capacidade nominal, a argamassa de assentamento a produção de argamassa, cubagem de carrinhos é similar a argamassa de assentamento, citada anteriormente no item “Argamassa de Assentamento”. Para finalizar, com base nas informações apresentadas, tornou-se possível, por meio da quantidade total média de argamassa de revestimento aplicada em um pavimento tipo, determinar o número de viradas ou misturas realizadas na betoneira e, com isso, as quantidades totais de cimento, areias e areia+cal, conforme padrão de mistura estabelecido em cada obra.

Outra situação recorrente é a aplicação de argamassa mista estabilizada em obra. Semelhante ao processo de fornecimento de concreto usinado, na fase de estrutura, o fornecimento de argamassa de revestimento ocorreu por caminhões betoneiras de até oito metros cúbicos (8m³). A argamassa de revestimento foi descarregada em caixas plásticas retangulares com capacidade de armazenamento equivalente a 0,2m³, ou seja, cinco caixas corresponderam a 1m³ de argamassa de revestimento. Fez-se com o mesmo método para medição no processo de argamassa de revestimento virado em obra, ou seja, produzido no canteiro de obras. Determinando-se o total médio de argamassa de revestimento de um pavimento tipo, determina-se o total de caminhões basculantes com capacidade total de 8m³ de argamassa de revestimento são necessários e, com isso, o número de viagens entre o ponto de partida e a obra.

O consumo de energia elétrica relacionado às fases supracitadas, bem como suas derivações são demonstrados nos fluxogramas abaixo:

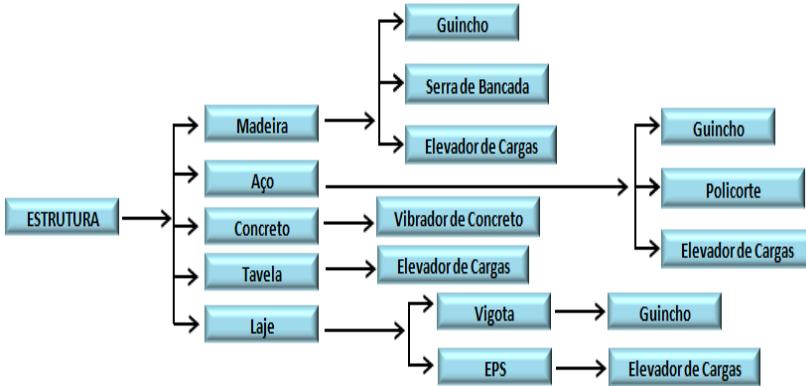


Figura 19. Sub-sistema Estrutura e suas derivações de consumo de energia elétrica (kWh).

Destaca-se que o concreto é bombeado até o pavimento tipo por bombas estacionárias.

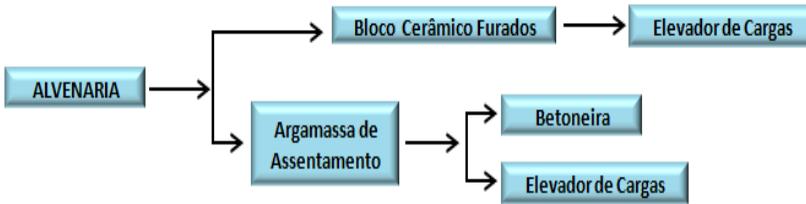


Figura 20. Sub-sistema Alvenaria e suas derivações de consumo de energia elétrica (kWh).

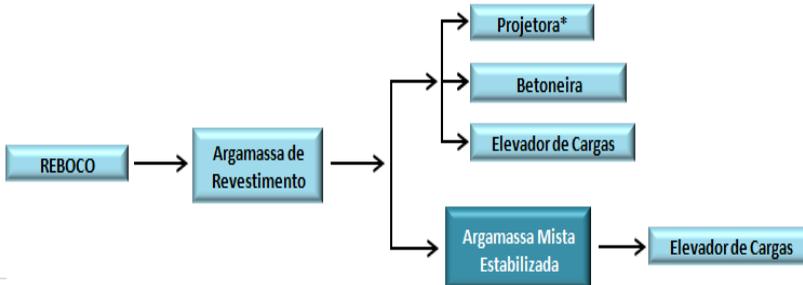


Figura 21. Sub-sistema Reboco e suas derivações de consumo de energia elétrica (kWh).

* A máquina projetora foi utilizada em uma das seis obras avaliadas.

A coleta de dados de consumo de energia elétrica foi sistematizada nas seguintes etapas:

1ª Estrutura:

- Madeira: Foram levantadas as informações referentes às potências elétricas nominais dos motores do guincho de coluna e elevador de cargas e determinou-se o tempo necessário para transportar toda a madeira (fôrma) necessária à produção dos elementos estruturais laje, viga e pilar. O resultado consistiu na energia elétrica em quilowatt hora (kWh) total consumida. Considerou-se o tempo médio de transporte vertical para transportar todo o material de construção até o pavimento tipo. No entanto, particularmente para madeira, o transporte geralmente ocorre manualmente de pavimento para pavimento, ou seja, sem necessidade de máquinas elétricas para o seu deslocamento. O mesmo método se aplicou a serra de bancada. Determinou-se o tempo total médio, através o acompanhamento diretamente no setor de carpintaria e com registros de controle do engenheiro responsável pela obra, para realizar os cortes nas tábuas e/ou chapas de madeira e multiplicou-se pela potência nominal do motor, obtendo-se assim a energia total consumida para produzir todos os componentes do sistema de fôrmas;
- Aço: Aplicou-se o mesmo método para madeira, porém ao invés de serra de bancada utilizou-se uma máquina policorte responsável por preparar as barras de aço para produção de armaduras;
- Concreto: Determinou-se a potência elétrica nominal do motor do vibrador de concreto e multiplicou-se pelo tempo total decorrido para concretar todos os elementos estruturais que compõem um pavimento tipo;
- Tabela: Determinou-se o tempo total de subida e descida do térreo ao último pavimento tipo necessário para transportar todas as tabelas necessárias e multiplicou-se pela potência elétrica nominal do motor do elevador de cargas;
- Laje: Tanto para o transporte vertical de vigota, laje pré-fabricada treliçada, entre outro, quanto para o

EPS se aplicou o método similar para determinação da energia elétrica consumida em guincho e elevador de cargas.

2ª Alvenaria:

- Cerâmica: Determinou-se o tempo total de subida e descida do térreo ao último pavimento tipo necessário para transportar todos os blocos cerâmicos necessários a edificação de um pavimento tipo e multiplicou-se pela potência elétrica nominal do motor do elevador de cargas. A princípio se determinou o número total de tijolos utilizados em um pavimento tipo, em seguida a capacidade de carga do elevador e, por fim, determinou-se o número total de subidas e descidas;
- Argamassa de Assentamento: Determinou-se o volume total de argamassa de assentamento aplicado em um pavimento tipo, a quantidade de viradas necessárias à produção do volume de argamassa e o tempo médio de uma virada. Obteve-se o tempo total de mistura dos componentes da argamassa na betoneira e, em seguida, multiplicou-se pela potência elétrica nominal do motor da betoneira, para se determinar o consumo total de energia elétrica. Com relação à determinação da energia elétrica total pelo transporte vertical da argamassa de assentamento via elevador de cargas, adotou-se o mesmo princípio da cerâmica, no entanto, um elevador de cargas transporta até 03 (três) carrinhos por vez, ou seja, em média $0,260\text{m}^3$ de argamassa de assentamento. Com base no total do volume de argamassa de assentamento aplicado, determinou-se o número carrinhos para se obtenção do tempo total de transporte. E, por fim, multiplicou-se o tempo pela potência elétrica nominal do motor do elevador de cargas, resultando na energia elétrica total consumida nessa atividade.

3ª Reboco:

- Argamassa de Revestimento: Com base no volume total de argamassa de revestimento aplicado em um pavimento tipo se determinou, quando foi o caso, o tempo total de operação da máquina projetora de

argamassa para rebocar todas as paredes de um pavimento tipo e multiplicou-se pela potência elétrica nominal do motor da projetora.. Com relação ao consumo de energia elétrica da betoneira e elevador de cargas o método é similar ao apresentado para argamassa de assentamento. No que se refere à argamassa mista estabilizada fornecida por caminhões basculantes, o bombeamento ocorreu no térreo com mangueiras que conectam o caminhão até as caixas plásticas com volume de $0,2\text{m}^3$. Essas caixas são transportadas por carrinhos de carga até o elevador de cargas. Determinou-se assim o volume total de argamassa de revestimento utilizado para rebocar todas as paredes do pavimento tipo e o tempo total de subida e descida do elevador para transportar tal volume e, ao final, multiplicou-se pela potência nominal do motor do elevador para a determinação da energia elétrica total consumida.

3.2.2 Sub-sistema Fornecedor de Material

Os fornecedores de materiais de construção e serviços relacionados representam uma contribuição significativa ao inventário de emissões de gases de efeito estufa. Com base em quantidades totais de materiais e serviços aplicados na edificação de um pavimento tipo, tornou-se possível determinar o número de viagens necessárias para transportar o material de construção do fornecedor (ponto de partida) até a obra (ponto de chegada), considerou-se ainda o retorno ao ponto de partida, baseando-se novamente em valores médios de consumo de combustível com carga. O fornecimento de materiais de construção e serviços relacionados às fases supracitadas, bem como suas derivações são demonstrados no fluxograma abaixo:

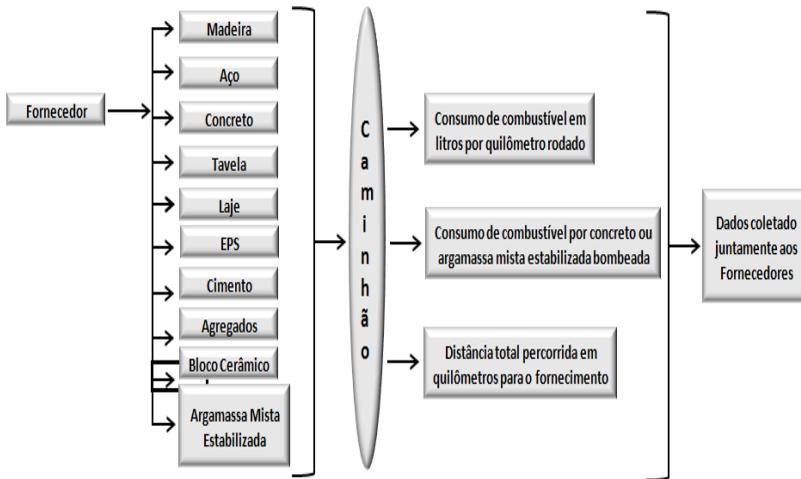


Figura 22. Sub-sistema Fornecedor e suas derivações.

Realizou-se todos os levantamento de dados técnicos dos caminhões envolvidos, como distância percorrida por consumo de combustível, tipo de combustível, entre outros, no processo de transporte de materiais de construção e serviços relacionado às fases de Estrutura, Alvenaria e Reboco. Assim como os dados de consumo de materiais, apresentados no Sub-sistema Obra, consumo de energia elétrica para a produção das fases, o consumo de combustível por quilômetro rodado, por volume de concreto e argamassa de revestimento bombeados, a distância total percorrida do fornecedor até a obra para fornecer a quantidade total de material ou serviço complementa a gama de Dados de Atividade de um inventário de emissões de gases de efeito estufa. Com base em dados de atividades procedeu-se a multiplicação por um fator de emissão específico para cada material, serviço ou atividade, resultando assim na quantidade, em massa, de CO₂.

3.2.3 Sub-sistema Emissões de CO₂

O sub-sistema emissões de carbono equivalente (CO₂eq) é a base de um inventário de emissões de gases de efeito estufa, devido a sua capacidade de confrontar dados de atividades, como consumo de material de construção, consumo de combustível para o transporte do material de construção do fornecedor ao canteiro de obras, consumo de energia elétrica para produzir e transportar internamente argamassas a

pavimentos tipos, entre outros, com fatores de emissão específicos de materiais, combustíveis, etc.

Os gases internacionalmente reconhecidos como gases de efeito estufa regulados pelo Protocolo de Quioto, a saber, são: dióxido de carbono (CO₂); metano (CH₄); óxido nitroso (N₂O); hexafluoreto de enxofre (SF₆); hidrofluorcarbonos (HFCs) e perfluorcarbonos (PFCs).

As emissões de cada gás classificado como de efeito estufa (CO₂, CH₄, N₂O etc.) são calculadas separadamente e então convertidas a equivalente de CO₂ com base no seu potencial de aquecimento global (GWP). O gás metano (CH₄) apresenta 21 vezes o potencial de aquecimento do CO₂, enquanto que o óxido nitroso (N₂O) 310 vezes. A contabilização de emissão, nesta pesquisa, limitou-se ao CO₂.

A ferramenta aplicada à quantificação e elaboração do inventário de emissões de gases de efeito estufa, no cenário avaliado, é a versão brasileira do programa GHG Protocol.

A ferramenta de cálculo, de emissões de gases de efeito estufa, disponibilizada pelo Programa Brasileiro GHG Protocol é pública (www.ghgprotocolbrasil.com.br) e aplicada ao programa EXCEL.

O modelo de esquema do método aplicado ao sub-sistema emissões está estruturado, com base na NBR ISO 14064-1 (2007) e sob os princípios da metodologia GHG Protocol, que são basicamente: relevância, integralidade, consistência, precisão e transparência. Destaca-se que a metodologia GHG Protocol bem como suas versões adaptadas aos países é compatível com as metodologias tanto do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, quanto com a norma ABNT NBR 14064. Na Figura 23, segue a sistematização das emissões:

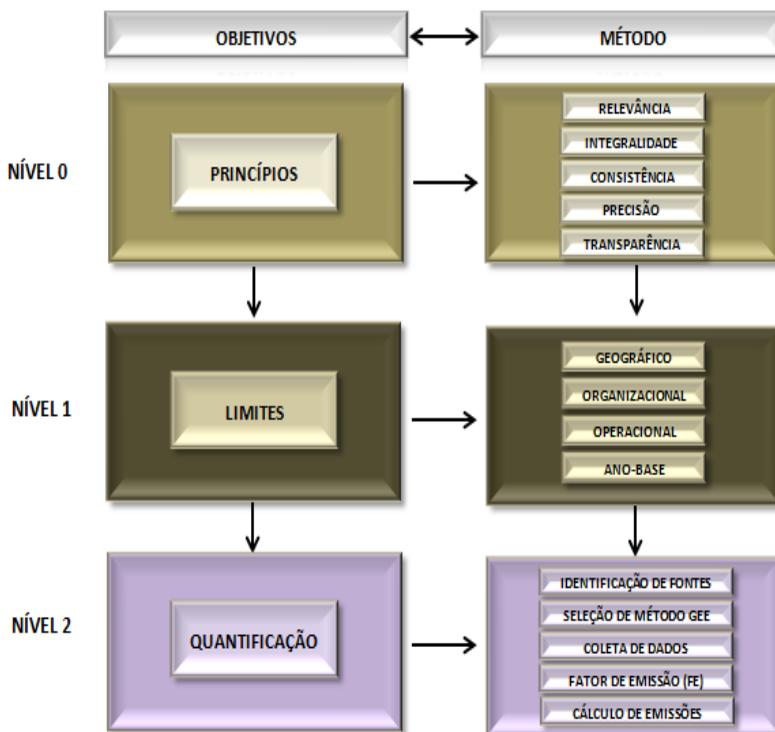


Figura 23. Resumo do método do sub-sistema emissões de CO₂.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR ISO 14064-1, 2007.

NÍVEL 0: Princípios

- Relevância: seleção das fontes de gases de efeito estufa;
- Integralidade: inclusão das emissões pertinentes;
- Consistência: possibilidade de comparação significativa de informações relacionadas aos gases de efeito estufa;
- Precisão: redução de assimetrias e incertezas até onde seja viável;
- Transparência: divulgações de informações suficientes e apropriadas para tomada de decisão.

NÍVEL 1: Limites

- Geográfico: raio de 100 quilômetros da obra;
- Organizacional: a construtora responde por todas as emissões quantificadas das instalações sobre a qual tenha controle operacional ou financeiro;
- Operacional (ESCOPOS do inventário de GEE):

- **Escopo 1** (emissões diretas – controlada pela organização – Obra/Construtora);
 - **Escopo 2** (emissões indiretas – controlada pela organização - Obra/Construtora) e;
 - **Escopo 3** (emissões indiretas - não controlada pela empresa – Empresas Terceirizadas).
- Ano-Base: 2013.

NIVEL 2: Quantificação

- Identificação de Fontes:
 - Fonte de combustão estacionária direta (Escopo 1);
 - Fonte de combustão móvel direta (Escopo 1);
 - Emissão indireta pela compra de eletricidade (Escopo 2);
 - Categorias do Escopo 3:
 - Transporte e distribuição de produtos (materiais de construção, transporte do material);
 - Processo industrial de fabricação de materiais de construção.
- Seleção de Método: Ferramenta disponibilizada pelo Programa Brasileiro GHG Protocol;
- Coleta de Dados: gerenciamento de dados da atividade (consumo/unidade, distância percorrida, potência elétrica/tempo, entre outros);
- Fator de emissão: multissetorial e/ou intersetorial fornecido pelo programa. Os fatores de emissão sugeridos na ferramenta são baseados em publicações internacionalmente reconhecidas, como método do IPCC (2000, 2006), da United State Environmental Protection Agency (US-EPA), 2012 Guidelines to Defra / DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting (DEFRA), entre outros, como Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), Ministério do Meio Ambiente (MMA). Tais fatores estão em constante evolução, sendo assim, o avaliador/usuário pode editar fatores de emissão específico diante da falta de um fator padrão disponibilizado pela ferramenta. A utilização de fatores de emissão específicos deve ser claramente informado no inventário de emissões e, podem não corresponder necessariamente à realidade;
- Cálculo de Emissões: dados da atividade multiplicados pelo fator de emissão.

O IPCC disponibiliza uma base de cálculo para determinação de fatores de emissão através da energia de base, massa de base e

densidade de líquidos, para combustíveis fósseis ou de biomassa, conforme Equação 3.

$$\text{Energia de Base} = C = A * B * 44/12 * 1000 \quad \text{eq.3}$$

Onde:

A: Default values of carbon content;

B: considerado igual a 1, ou máxima oxidação do carbono;

44: Peso Molecular do CO₂;

12: Peso Molecular do C;

1000: valor fixo.

Unidade: quilograma por terajoule (kg/TJ)

$$\text{Massa de Base} = \frac{\text{Poder calorífico inferior} * \text{Energia de Base}}{1000} \quad \text{eq.4}$$

Onde:

Poder calorífico inferior dado em terajoule por gigagrama (TJ/Gg);

Energia de Base dado em quilograma por terajoule (kg/TJ).

$$\text{Fator de emissão (FE)} = \frac{\text{Massa de Base}}{1000} * \text{densidade} \quad \text{eq.5}$$

Na metodologia GHG Protocol grande parte dos fatores de emissão (FE), encontra-se disponível e adaptado à realidade brasileira. Dessa forma, a contabilização da quantidade de gases de efeito estufa emitida é realizada pela simples operação de multiplicação dos dados da atividade pelo fator de emissão. A precisão dos dados para a quantificação deve atender ao princípio de Exatidão da metodologia. As principais equações utilizadas são:

- Emissão de CO₂ por consumo de combustível:

$$\text{Emissão} = \sum_i (\text{Combustível } i_j \cdot EF_j) \quad \text{eq.6}$$

Onde:

Emissão = Emissão de CO₂ (Kg);

Combustível j = Combustível consumido (TJ);

EF_j = Fator de emissão do combustível j (Kg/TJ);

j = Tipo de combustível (Álcool, Biodiesel, Diesel, Gasolina e GLP).

- Emissão de CO₂ por consumo de energia elétrica:

$$Emiss\tilde{a}o = CE_y . EF_y \quad eq.7$$

Onde:

Emiss\tilde{a}o = Emissão de CO₂ por consumo de energia elétrica, no ano y (t);

CE_y = Consumo de energia elétrica, no ano y (MWh);

EF_y rede = Fator de emissão de CO₂ do ano y pela rede elétrica (t/MWh).

- Emissão de CO₂ por consumo de material de construção (Adaptado à pesquisa):

$$Emiss\tilde{a}o = CE_m . EF_m \quad eq.8$$

Onde:

Emiss\tilde{a}o = Emissão de CO₂ por consumo de material de construção (t);

CE_m = Consumo de material de construção ou serviço, em unidade de massa ou volume;

EF_m = Fator de emissão específico de CO₂ do material de construção ou serviço (unidade de massa/unidade de energia).

Para esclarecer as ações para elaboração de um inventário de emissões de gases de efeito estufa destinado ao setor da construção civil, propõem-se uma compilação das informações presentes em todos os sub-sistemas abordados, conforme se observa no Quadro 1.

No Quadro 1 se observa a ausência do Escopo1, que se trata de fontes de emissões controladas ou pertencentes às construtoras, como por exemplo, caminhão próprio de carga, produção própria de determinado material, entre outras, para as atividades inseridas nas fases delimitadas. Certamente, considerando-se o consumo de combustível dos veículos dos engenheiros responsáveis pela obra, ônibus próprio para transporte de mão-de-obra própria, entrariam no Escopo 1, porém não se insere nessa pesquisa.

A predominância da ocorrência do Escopo 3 refere-se a grande participação de empresas terceirizadas no processo de construção, como empreiteiras, que além da mão-de-obra fornecem também máquinas e

equipamentos, concreteiras, produtoras de argamassa mista estabilizada, fornecedores de blocos, madeira, aço, cimento, agregados graúdo e miúdo, etc. Ainda sobre o quadro, fatores de emissões específicos se referem aos oriundos de pesquisa sobre setores da economia como da construção civil, mecânica, agricultura, ou seja, o Programa GHG Protocol oferece uma gama de fatores de emissões padrões, principalmente relacionados as emissões por combustão. Porém, mesmo evoluindo sobre fatores pertencentes ao Escopo 3 ainda não contempla todos os vastos setores, o que implica na necessidade de ampliação da pesquisa sobre o tema.

		ETAPA DA CONSTRUÇÃO											
		COLETA DE DADOS											
FASE	Material	Especificação	Unid. de Consumo	Ref. de Consumo	Escopo	Qtidade	Fator de Emissão (FE)	Emissão CO2					
SUB-SISTEMA OBRA	Emissão de CO2/ Consumo Material	Estrutura	Madeira	Fôrma	m ²	PVTO TIPO	3	*	Específico	Qtidade x FE			
				Escora	pç	PVTO TIPO	3	*	Específico	Qtidade x FE			
			Aço	Todas bitolas	kg	PVTO TIPO	3	*	Específico	Qtidade x FE			
			Concreto	Usinado	m ³	PVTO TIPO	3	*	Específico	Qtidade x FE			
			Tabela	*	pç	PVTO TIPO	3	*	Específico	Qtidade x FE			
				Vigota	pç	PVTO TIPO	3	*	Específico	Qtidade x FE			
		Alvenaria	Laje	EPS	pç	PVTO TIPO	3	*	Específico	Qtidade x FE			
				Treliçada	pç	PVTO TIPO	3	*	Específico	Qtidade x FE			
			Cerâmica	blocos	pç	PVTO TIPO	3	*	Específico	Qtidade x FE			
			Argamassa	Cimento	kg	PVTO TIPO	3	*	Específico	Qtidade x FE			
			Assentamento	Agregados	m ³	PVTO TIPO	3	*	Específico	Qtidade x FE			
				Cimento	kg	PVTO TIPO	3	*	Específico	Qtidade x FE			
	Emissão de CO2/ Consumo Energia Elétrica	Estrutura	Reboco	Argamassa de Revestimento	Agregados	m ³	PVTO TIPO	3	*	Específico	Qtidade x FE		
					Cimento	kg	PVTO TIPO	3	*	Específico	Qtidade x FE		
					Agregados	m ³	PVTO TIPO	3	*	Específico	Qtidade x FE		
			Alvenaria	Reboco	Revestimento	Mista Estabilizada	m ³	PVTO TIPO	3	*	Específico	Qtidade x FE	
					Estrutura	Madeira	Guincho	kWh	PVTO TIPO	2	*	MCT (2013)	Qtidade x FE
							Serra de Bancada	kWh	PVTO TIPO	2	*	MCT (2013)	Qtidade x FE
				Elevador de Cargas		kWh	PVTO TIPO	2	*	MCT (2013)	Qtidade x FE		
		Alvenaria		Reboco	Aço	Guincho	kWh	PVTO TIPO	2	*	MCT (2013)	Qtidade x FE	
						Policorte	kWh	PVTO TIPO	2	*	MCT (2013)	Qtidade x FE	
					Elevador de Cargas	kWh	PVTO TIPO	2	*	MCT (2013)	Qtidade x FE		
		Emissão de CO2/ Combustão	Específica	Concreto	Vibrador de Concreto	kWh	PVTO TIPO	2	*	MCT (2013)	Qtidade x FE		
				Tabela	Elevador de Cargas	kWh	PVTO TIPO	2	*	MCT (2013)	Qtidade x FE		
Laje	Guincho			kWh	PVTO TIPO	2	*	MCT (2013)	Qtidade x FE				
	Elevador de Cargas			kWh	PVTO TIPO	2	*	MCT (2013)	Qtidade x FE				
Cerâmica	Elevador de Cargas			kWh	PVTO TIPO	2	*	MCT (2013)	Qtidade x FE				
Argamassa de Assentamento	Betoneira			kWh	PVTO TIPO	2	*	MCT (2013)	Qtidade x FE				
SUB-SISTEMA FORNECEDOR	Emissão de CO2/ Combustão	Específica	Assentamento	Elevador de Cargas	kWh	PVTO TIPO	2	*	MCT (2013)	Qtidade x FE			
			Argamassa de Revestimento	Projeteira	kWh	PVTO TIPO	2	*	MCT (2013)	Qtidade x FE			
				Betoneira	kWh	PVTO TIPO	2	*	MCT (2013)	Qtidade x FE			
				Elevador de Cargas	kWh	PVTO TIPO	2	*	MCT (2013)	Qtidade x FE			
			Madeira	Transporte de	litros	PVTO TIPO	3	*	GHG Protocol (2012)	Qtidade x FE			
			Aço	Transporte de	litros	PVTO TIPO	3	*	GHG Protocol (2012)	Qtidade x FE			
			Concreto	Transporte de	litros	PVTO TIPO	3	*	GHG Protocol (2012)	Qtidade x FE			
			Tabela	Transporte de	litros	PVTO TIPO	3	*	GHG Protocol (2012)	Qtidade x FE			
			Laje	Transporte de	litros	PVTO TIPO	3	*	GHG Protocol (2012)	Qtidade x FE			
			EPS	Transporte de	litros	PVTO TIPO	3	*	GHG Protocol (2012)	Qtidade x FE			
Cimento	Transporte de	litros	PVTO TIPO	3	*	GHG Protocol (2012)	Qtidade x FE						
Agregado	Transporte de	litros	PVTO TIPO	3	*	GHG Protocol (2012)	Qtidade x FE						
Bloco Cerâmico	Transporte de	litros	PVTO TIPO	3	*	GHG Protocol (2012)	Qtidade x FE						
Argamassa Mista Estabilizada	Transporte de	litros	PVTO TIPO	3	*	GHG Protocol (2012)	Qtidade x FE						

Quadro 1. Resumo de coleta de dados

Torna-se importante esclarecer que as emissões de gases de efeito estufa por consumo de materiais de construção ou serviço relacionado pertence ao Escopo 3, pois o carbono emitido para produzi-lo foi liberado no seu processo de fabricação.

A medida mais precisa consiste em acompanhar o processo de produção de cada material de construção utilizado nas fases, para determinação de um fator de emissão. Entretanto, exigiria maiores recursos humanos, econômicos e tempo. Com intuito de se elaborar um perfil de emissões, na etapa, considerou-se a emissão por consumo de material de construção, com base em fatores de emissões já estabelecidos pela pesquisa. Neste caso, as emissões totais sobre um material de construção utilizado consistem na emissão por consumo do material de construção, no consumo de energia elétrica para processá-lo e transportá-lo, no canteiro de obras, somados a emissão de combustão pelo transporte desse material do fornecedor até o canteiro de obras.

A evolução da ferramenta sobre as atividades presentes nos Escopos 1, 2 e 3 pode se observada na atualização de seu menu de navegação, conforme demonstrado abaixo:

Abas gerais	Introdução	Resumo	Fatores de emissão	Fatores variáveis	Fatores de conversão	Menu de navegação	
Escopo 1	Combustão estacionária	Combustão móvel	Emissões fugitivas	Processos industriais	Atividades agrícolas	Resíduos sólidos	Efluentes
Escopo 2	Compra de Energia Elétrica	Compra de Energia Térmica					
Escopo 3	Categorias de Escopo 3	Transporte & Distribuição (upstream)	Resíduos sólidos gerados na operação	Efluentes gerados na operação	Viagens a negócios	Transporte & Distribuição (downstream)	

Figura 24. Demonstração do Menu da Ferramenta de Contabilização de Gases de Efeito Estufa

Fonte: Programa Brasileiro GHG Protocol, 2011.

Após a estruturação dos dados de entradas (Níveis 0 - 1 - 2, apresentados no figura 23), o processamento (Ferramenta – Fases que compõem a etapa da construção de um edifício), a saída pode ser representada, de maneira resumida, na Tabela 10, a seguir.

Tabela 10. Dados consolidados de Gases de Efeito Estufa para todos os Escopos

GEE (t)	Emissões em toneladas métricas			Emissões em toneladas métricas de CO ₂ equivalente (tCO ₂ e)		
	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3
CO ₂	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
CH ₄	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
N ₂ O	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
HFCs	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
PFCs	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
SF ₆	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
Total				0,000000	0,000000	0,000000

Fonte: Programa Brasileiro GHG Protocol, 2012.

Dessa forma, a sequência de ações para elaboração de um inventário de emissões de gases de efeito estufa se resume da seguinte forma: delimitação das fases que compõem as etapas da construção; coleta de dados de atividades inseridas nas respectivas fases da construção; determinação dos fatores de emissão padrão (GHG Protocol) e específicos (fatores setoriais originados da expansão da pesquisa); justificativa sobre os fatores específicos; alimentação das planilhas de cálculo, conforme escopo pré-determinado, da ferramenta disponibilizada pelo Programa GHG Protocol (2012); contabilização das emissões de CO₂, por meio do cruzamento de dados da atividade pelo respectivo fator de emissão; geração de índices da construção como CO₂/ unidade de área construída/ou volume de material aplicado/ ou distância percorrida de fornecimento/ ou litro de combustível/etc; quantidade total para dimensionamento do número de árvores nativas necessárias a neutralização dos gases emitidos e determinação de um perfil de emissões de gases de efeito estufa na etapa da construção, em específico para as fases delimitadas.

3.3 Cenários Avaliados

As obras avaliadas se inserem na Região da Grande Florianópolis, Estado de Santa Catarina, em específico nos municípios de Florianópolis (Parte Continental), São José e Palhoça. Dados obtidos por meio do Sinduscon da Grande Florianópolis, no ano de 2013, estimam que foram concedidos somente para a cidade de Florianópolis (ilha e continente) 1.201 alvarás de construção para construções acima de dois mil metros quadrados e três pavimentos, no ano de 2011, 874 em 2012 e 540 alvarás no ano de 2013. Considerando-se essa amostra n=3, obtém-se uma média igual a 871,67 e um desvio padrão (S) igual a 330,51, ou seja, o coeficiente de variação (C.V.) equivale a 37,92.

Adotando-se um Erro Padrão (Er) de 10%, com 95% de confiabilidade, obtém-se, pela distribuição *t-student*, o seguinte tamanho de amostra representativa da população:

$$n = t^2 \cdot a / (n-1) \cdot CV^2 / Er^2 \quad \text{eq.9}$$

Onde:

n é o tamanho da mostra representativa de uma população;

t distribuição é a Distribuição de Student;

a significância;

n é o número de elementos da amostra;

CV é o coeficiente de variação;

Er Erro Relativo Padrão.

Dessa forma, com uma confiabilidade de 95%, C.V. equivalente a 37,92 e um Erro Padrão (Er) de 10%, o *n* equivale a 30,65 obras, ou aproximadamente 30 obras a serem avaliadas. No entanto, ainda se tornaria necessário estratificar as obras convencionais, obras de alvenaria estrutural, obras convencionais com utilização de guincho e elevador de cargas, obras convencionais com utilização de grua e elevador de cargas, obras convencionais com utilização de guincho, grua e elevador de cargas, etc. Estima-se que a estratificação de uma população de obras convencionais com utilização de guincho e elevador de cargas, foco do estudo, reduziria o tamanho da amostra (*n*) representativa.

Para a pesquisa em questão buscou reduzir o tamanho da amostra através de um processo cuja definição do tamanho da amostra é função da rapidez, custo e precisão desejada, neste caso, trata-se do instrumento decisório conhecido por “Pesquisa de Mercado”, considerando *Populações Infinitas* ou muito grandes. Assim, a equação adotada é a seguinte:

$$N = z^2 \cdot a / 2 \cdot p \cdot q / E \quad \text{eq.10}$$

Onde:

z é o valor retirado da distribuição normal reduzida;

a é o nível de significância desejado (complemento da confiabilidade);

p é a % de ocorrência esperada para a propriedade;

q é 100-p;

E é o erro absoluto máximo admitido, expresso em % entre o valor obtido na amostra e o esperado para a população.

Considerando que o valor de “p” não pode ser estimado, adota-se p=50%, logo q=50%. A confiabilidade adotada consiste em 92,5% e o erro absoluto máximo (E) admitido igual a 30%. A ferramenta GHG Protocol de incertezas atribui automaticamente fileiras com base na escala apresentada na Tabela 11:

Tabela 11. Precisão dos Dados

Precisão dos Dados	Intervalo de Valores Médios (%)
Alta	(+/-) 5%
Boa	(+/-) 15%
Média	(+/-) 30%
Pobre	Acima de 30%

Fonte: GHG Protocol orientação sobre avaliação da incerteza em inventários de GEE, 2011.

A acurácia ou erro máximo admitido adotado para o cálculo se enquadra na classificação “Média” que equivale a uma média precisão, perante a metodologia GHG Protocol. Então:

$$N = 1,43^2 \cdot 0,25 / 0,3^2 = 5,7 = 06 \text{ obras a serem avaliadas.}$$

As seis obras avaliadas, pertencentes a seis construtoras diferentes, codificadas em A, B, C, D, E e F, estão distribuídas geograficamente, na Região da Grande Florianópolis: 01 em Florianópolis, 01 em São José, 04 em Palhoça. Todas as obras possuem a mesma tipologia, ou seja, são em alvenaria convencional, aplicação de concreto usinado, utilização de guincho e elevador de cargas para transporte vertical, betoneiras de 400 litros, cimento CP-II F 32, fck 25 MPa, *layout* de canteiro similares, etc, tudo com o objetivo de proporcionar precisão a comparação entre obras.

Com relação aos fornecedores de materiais de construção e serviço relacionado, como a concretagem, por exemplo, 04 obras possuem em comum a mesma concreteira e 05 possuem em comum o fornecedor de agregados miúdos+cal (erroneamente chamado de

argamassa pronta ou argamassa mista), 03 possuem em comum o fornecedor de blocos cerâmicos furados e aço.

Além da aplicação da ferramenta estatística, de Pesquisa de Mercado, outras ferramentas como teste de normalidade, comparação entre duas médias e comprovação de ajuste linear da relação entre variáveis através do coeficiente de determinação (R^2) e da linha de tendência, foram utilizadas nos tratamentos dos dados obtidos.

3.3.1 Cenários do Estudo de Caso

Os cenários avaliados consistem em seis obras em alvenaria convencional, localizadas na Região da Grande Florianópolis, conforme se demonstra:

1º Cenário: Descrição Geral Obra A e Planta Baixa Pavimento Tipo Obra A

	<p>Descrição Geral</p> <p>Indetificação: Obra "A"</p> <p>Município: Florianópolis</p> <p>Estado: Santa Catarina</p> <p>Nº de Pavimentos Tipo: 11</p> <p>Área do Pavimento Tipo: 636,48m²</p> <p>Área de Parede: 1.130,61m²</p> <p>Altura Pé direito: 2,80m</p>
------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Figura 25. Cenário Obra A

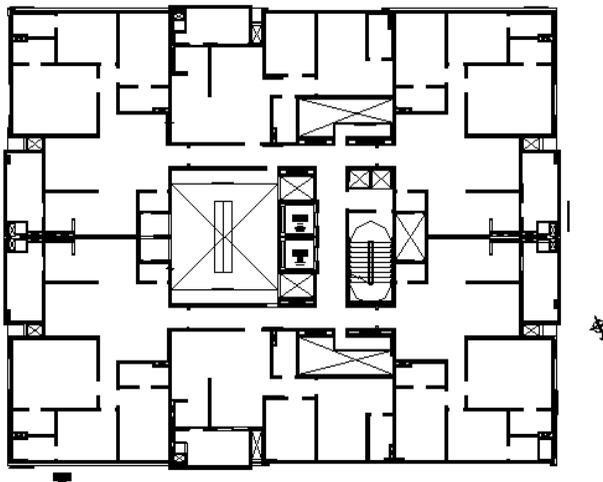


Figura 26. Planta Baixa sem escala da Obra A
Fonte: Construtora A, 2014.

2º Cenário: Descrição Geral Obra B e Planta Baixa Pavimento
Tipo Obra B

<p>B</p> 	<p>Descrição Geral</p> <p>Indetificação: Obra "B"</p> <p>Município: Palhoça</p> <p>Estado: Santa Catarina</p> <p>Nº de Pavimentos Tipo: 11</p> <p>Área do Pavimento Tipo: 914,70m²</p> <p>Área de Parede: 838,97m²</p> <p>Altura Pé direito: 2,70m</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Figura 27. Cenário Obra B

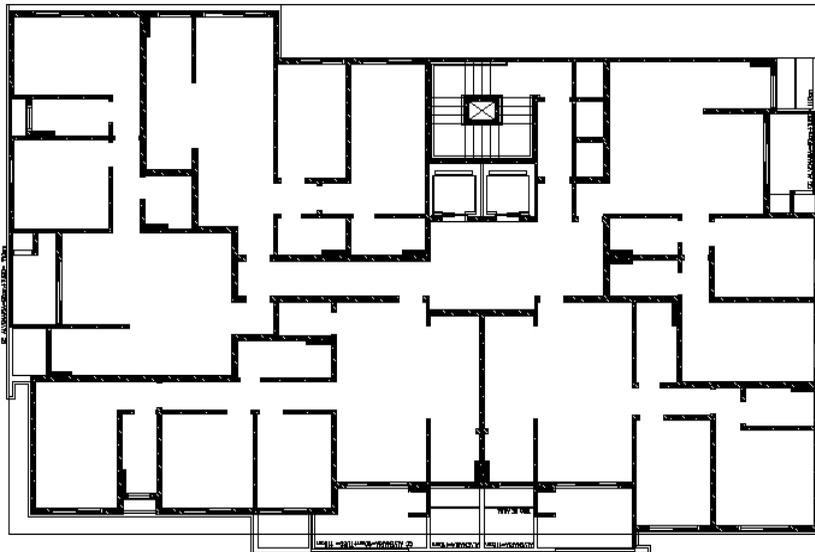


Figura 28. Planta Baixa sem escala da Obra B
Fonte: Construtora B, 2014.

3º Cenário: Descrição Geral Obra C e Planta Baixa Pavimento Tipo Obra C

<p>C</p>	<p>Descrição Geral</p> <p>Indetificação: Obra "C"</p> <p>Município: Palhoça</p> <p>Estado: Santa Catarina</p> <p>Nº de Pavimentos Tipo: 12</p> <p>Área do Pavimento Tipo: 715,00m²</p> <p>Área de Parede: 1.203,13m²</p> <p>Altura Pé direito: 2,70m</p>
-----------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Figura 29. Cenário Obra C

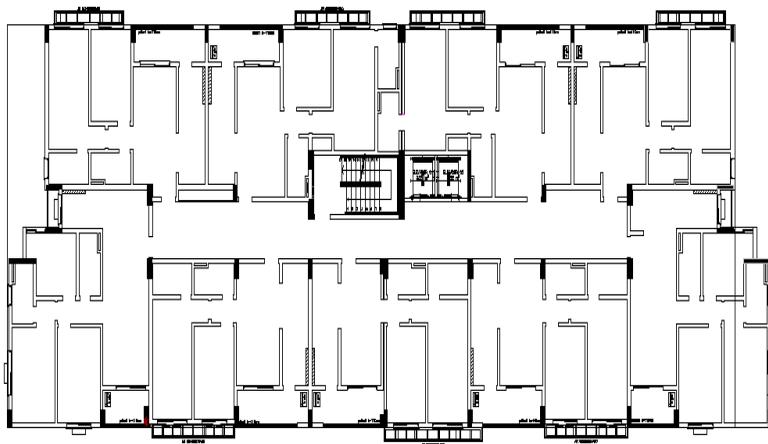


Figura 30. Planta Baixa sem escala da Obra C
Fonte: Construtora C, 2014.

4º Cenário: Descrição Geral Obra D e Planta Baixa Pavimento Tipo Obra D

<p>D</p> 	<p>Descrição Geral</p> <p>Indetificação: Obra "D"</p> <p>Município: São José</p> <p>Estado: Santa Catarina</p> <p>Nº de Pavimentos Tipo: 14</p> <p>Área do Pavimento Tipo: 839,30m²</p> <p>Área de Parede: 1.655,55m²</p> <p>Altura Pé direito: 2,75m</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Figura 31. Cenário Obra D

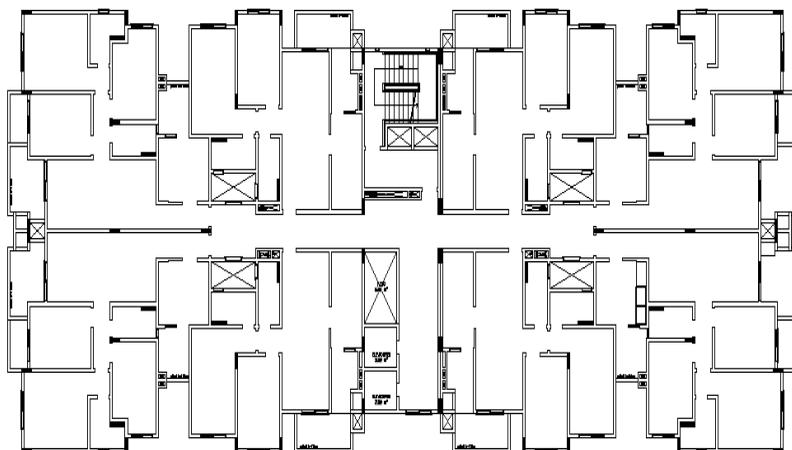


Figura 32. Planta Baixa sem escala da Obra D
Fonte: Construtora D, 2014.

5º Cenário: Descrição Geral Obra E e Planta Baixa Pavimento
Tipo Obra E

	<p>Descrição Geral</p> <p>Indetificação: Obra "E"</p> <p>Município: Palhoça</p> <p>Estado: Santa Catarina</p> <p>Nº de Pavimentos Tipo: 10</p> <p>Área do Pavimento Tipo: 534,39m²</p> <p>Área de Parede: 1.045,51m²</p> <p>Altura Pé direito: 2,62m</p>
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Figura 33. Cenário Obra E

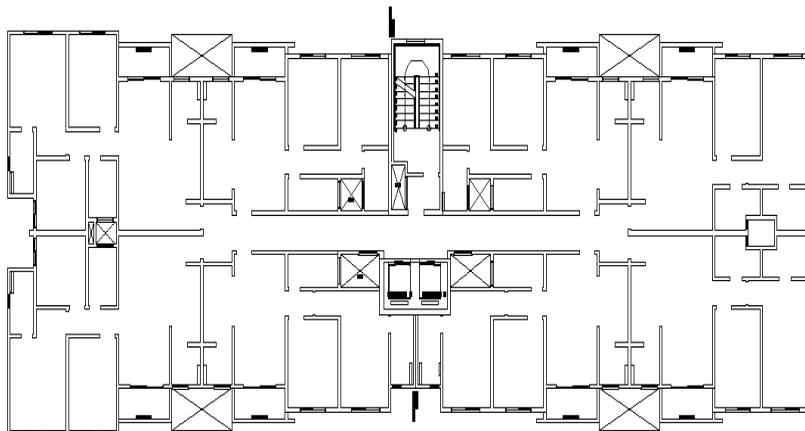


Figura 34. Planta Baixa sem escala da Obra E
Fonte: Construtora E, 2014.

6º Cenário: Descrição Geral Obra F e Planta Baixa Pavimento
Tipo Obra F

	<p>Descrição Geral</p> <p>Indetificação: Obra "F"</p> <p>Município: Palhoça</p> <p>Estado: Santa Catarina</p> <p>Nº de Pavimentos Tipo: 12</p> <p>Área do Pavimento Tipo: 394,35m²</p> <p>Área de Parede: 649,02m²</p> <p>Altura Pé direito: 2,70m</p>
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Figura 35. Cenário Obra F

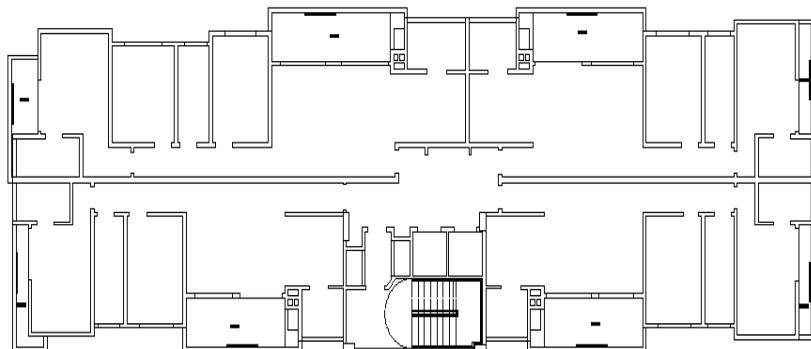


Figura 36. Planta Baixa sem escala da Obra F
Fonte: Construtora F, 2014.

3.3.2 Área de Influência

A área de influência é uma referência geográfica e representa a região de concentração das obras, bem como o espaço físico de relações com o entorno, conforme se demonstra abaixo:

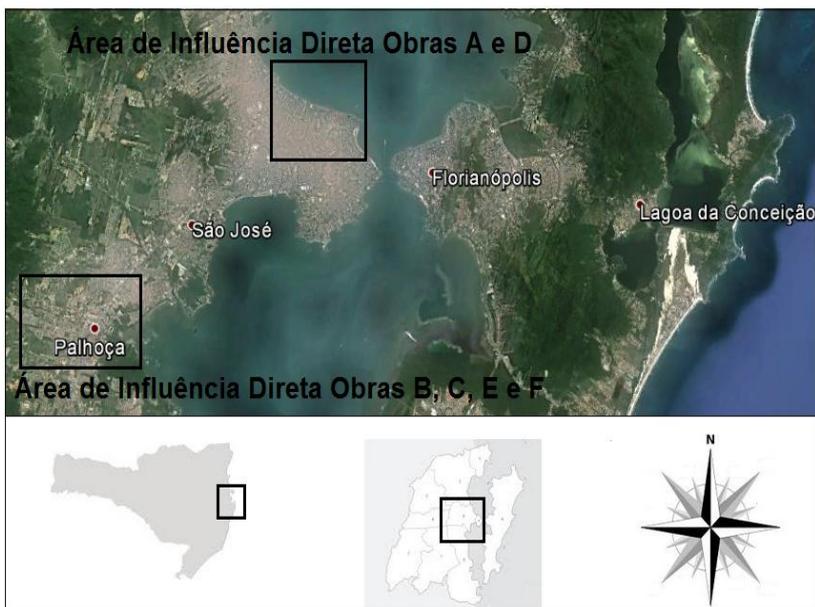


Figura 37. Área de Influência das Obras
Fonte: Adaptado do Google Earth e Imagens do Google, 2014.

A delimitação das áreas de influência teve por objetivo situar as obras no espaço, para posterior levantamento de dados de atividade, principalmente os relacionados à identificação de pontos fornecedores de serviços e materiais de construção.

Os pontos fornecedores de serviços e materiais de construção situados em um raio de até 20km das áreas de influência foram identificados in loco, principalmente as usinas de concreto. No entanto, para fornecedores situados além desse raio de ação foi aplicada a medição das distâncias através do software *Google Earth*.

A determinação dos traçados foi baseada no conceito do Algoritmo de Fluxo Máximo, onde segundo Campos (1997) esses algoritmos objetivam identificar a máxima capacidade de fluxo a partir de um ponto de origem até um ponto de destino, de maneira que o fluxo seja viável.

Assim, partiu-se do princípio da escolha de rotas independentes e com fluxos máximos, típico de rodovias federais e estaduais, de maneira a otimizar o fluxo alocado em um tempo que se julga mínimo.

Portanto, os traçados possuem um ponto de origem (Fornecedor) a ponto de destino (Obra), em fluxo ininterrupto, onde os nós representam pontos de ligação de vias federais e/ou estaduais de fluxos elevados, devido a facilidade de escoamento.

3.4 Neutralização de Carbono

A contabilização da quantidade em toneladas de carbono equivalente emitida a atmosfera serve de base de dados para a neutralização por sequestro de carbono. De acordo com Azevedo e Quintino (2010) a partir do resultado final de emissão de gases de efeito estufa em toneladas de CO₂ equivalente e de dados de fixação de carbono pelas árvores, estipula-se o número de espécies arbóreas nativas a serem plantadas para neutralizar o CO₂ emitido pelo período de um ano, através da seguinte equação:

$$N = [(Et/Ft)] \cdot 1,2 \quad \text{eq.11}$$

Onde:

N = Número de árvores a serem plantadas;

Et = Emissão total de GEE estimado no cálculo de emissão (tCO₂);

Ft = Fator de fixação de carbono em biomassa no local de plantio (tCO₂/árvore);

1,2 = Fator de compensação para possíveis perdas de mudas.

Considera-se o fator de fixação de 0,18 tCO₂/árvore, determinado pelo reflorestamento com um número médio de 1600 indivíduos de espécies nativas por hectare.

A partir da quantidade emitida de gases de efeito estufa de todo um pavimento tipo ou por m² construído, além de se determinar o número de árvores nativas necessárias para o sequestro de carbono, dimensiona-se a área necessária para a implantação do plantio, considerando um espaçamento 2 x 2 metros, entre indivíduos.

3.5 Gestão de Incertezas

As definições apresentadas nesse tópico são conceitos disponibilizados pelo programa GHG Protocol - *Guidance on Uncertainty Assessment in GHG Inventories and Calculating Statistical Parameter Uncertainty* (2001).

As incertezas associadas a inventários de gases de efeito estufa são classificadas em: incerteza científica e incerteza de estimativa.

A incerteza científica surge quando a ciência da real emissão / remoção processo não é completamente compreendido, portanto, analisá-la e quantificá-la é extremamente difícil.

A incerteza de estimativa surge a qualquer momento da quantificação das emissões de gases de efeito estufa. Portanto, todas as estimativas de emissão ou remoção estão associadas com a incerteza de estimativa. Divide-se em dois tipos: a incerteza de modelo e a incerteza de parâmetro.

A incerteza do modelo, refere-se à incerteza associada com as equações matemáticas utilizados para caracterizar as relações entre os vários parâmetros e processos de emissão (Modelos Matemáticos Avançados).

A incerteza de parâmetro está associada a quantificação dos parâmetros utilizados como insumos (por exemplo, dados da atividade, fatores de emissão ou outros parâmetros) para modelos de estimação. Incertezas dos parâmetros podem ser avaliados através de análise estatística, das determinações de medição de precisão, equipamentos e julgamento de especialistas.

A ferramenta de determinação da incerteza, disponibilizada pelo GHG Protocol, é projetado para agregar incerteza estatística assumindo uma distribuição normal das variáveis relevantes.

Aplica-se o método de propagação de erro de primeira ordem. Este método deve, porém, ser aplicado se as seguintes premissas forem cumpridas:

- os erros em cada parâmetro deverá se ajustar em uma distribuição normal
- o valor estimado é o valor médio;
- os parâmetros estimados devem ser correlacionados (ou seja, todos os parâmetros são totalmente independentes);
- incertezas individuais em cada parâmetro deverão ser inferiores a 60% da média;

As **incertezas de medições indiretas** consistem no cruzamento de dados de atividade multiplicados pelo respectivo fator de emissão (FE), onde a amplitude das incertezas dos parâmetros poderão ser determinados por:

$$I = \sqrt{C^2 + F^2} \quad \text{eq. 12}$$

I: Multiplicação de Incertezas (\pm %);

C: Incerteza da Atividade (\pm %);

F: Incerteza do Fator de Emissão (\pm %).

O Sinduscon-SP (2013), em seu Guia Metodológico para Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Construção Civil – Setor Edificações, aborda a importância da análise de incertezas sobre inventários. Similar a medição indireta de emissões, elaborada pelo programa GHG Protocol - *Guidance on Uncertainty Assessment in GHG Inventories and Calculating Statistical Parameter Uncertainty* (2001), o guia adota o método de propagação do erro.

Dentre os métodos de contabilização de incerteza abordados pelo guia, adotou-se o de Incertezas nas emissões de uma fonte individual. São fontes individuais, nessa pesquisa: Fase Supraestrutura, Fase de Alvenaria e Fase de Revestimento Interno (Reboco).

De acordo com Sinduscon-SP (2013) a análise de incertezas considera as geradas nas etapas de execução sobre: coleta de dados de atividade, lançamento dos dados de atividade num sistema de cálculo (Planilhas Excel, por exemplo), conversão dos dados de atividade na variável sobre a qual se aplica o fator de emissão e aplicação de fatores de emissão.

Assim, para uma fonte individual em uma Obra deverá ser aplicada a fórmula:

$$I_{\text{fonte individual}} = \sqrt{I^2 \text{ coleta de dados} + I^2 \text{ lançamento} + I^2 \text{ conversão} + I^2 \text{ fator emissão}} \quad \text{eq.13}$$

I fonte individual: porcentagem de incerteza atribuída à fonte individual (dentro do intervalo de confiança de 95%);

I etapa de cálculo: porcentagem de incerteza associada a cada elemento

A Tabela 12 demonstra as incertezas recomendadas pelo o guia elaborado por Sinduscon-SP (2013).

Tabela 12. Incertezas Recomendadas

		coleta de dados				lançamento no sistema		conversão		fatores de emissão		
		medição direta equipamento específico	medição direta equipamento genérico	por documento de terceiros	por estimativa	automático	manual	não é necessário converter	conversão dimensional	conversão para outra unidade	específicos	genéricos
escopo 1	Consumo de combustíveis	0,2%	0,5%	0,8%	3,0%	0,2%	1,5%	0,2%	0,4%	1,5%	0,5%	2,0%
	Remoção de vegetação	0,4%	1,5%	2,0%	5,0%	0,2%	1,5%	0,4%	0,8%	2,5%	1,5%	5,0%
	Tratam efluentes e resíduos	0,3%	0,5%	1,5%	4,0%	0,2%	1,5%	0,3%	0,7%	2,0%	1,2%	4,0%
	Outros processos	0,2%	1,0%	2,0%	4,0%	0,2%	1,5%	0,3%	0,5%	1,5%	0,8%	3,0%
escopo 2	Energia adquirida	0,1%	0,2%	1,2%	4,0%	0,2%	1,5%	0,1%	0,2%	0,6%	0,5%	1,5%
escopo 3	Consumo de combustíveis	0,2%	0,5%	1,0%	5,0%	0,2%	1,5%	0,2%	0,8%	2,0%	0,5%	2,0%
	Destinação efluentes e resíduos	0,2%	0,7%	2,0%	5,0%	0,2%	1,5%	0,4%	0,8%	3,0%	1,2%	4,0%
	Fabricação de materiais	0,2%	0,5%	1,0%	4,0%	0,2%	1,5%	0,3%	0,6%	n/a	1,0%	4,0%
	Frete de materiais	0,2%	0,4%	1,0%	4,0%	0,2%	1,5%	0,3%	0,5%	2,0%	0,5%	2,0%
	Emissões renováveis	0,2%	0,5%	0,8%	3,0%	0,2%	1,5%	0,2%	0,4%	2,0%	0,5%	2,0%
	Reflorestamento	0,5%	2,0%	4,0%	8,0%	0,2%	1,5%	0,4%	1,0%	4,0%	1,5%	5,0%

Fonte: Sinduscon-SP, 2013

Para exemplificar, com base nas linhas e colunas presentes na tabela 12, adotou-se a fase de supraestrutura como uma referência de estimativa da incerteza.

- Fabricação de materiais (escopo 3) x Coleta de Dados (por documentos de terceiros): 1,0%. Nesta situação, adotou-se um critério conservador na determinação dessa incerteza. Não foi possível coletar diretamente

dados nas concreteiras, no entanto, coletou-se dados de consumo total de concreto por pavimento tipo, através de acompanhamento in loco, do início ao fim da concretagem, bem como, por análise de registros de concretagem, controlados pelo engenheiro responsável pela obra, portanto, em documentos de terceiros;

- Energia adquirida (escopo 2) x Coleta de Dados (medição direta equipamento específico): 0,1%. Realizou-se medição direta do consumo de energia elétrica do equipamento elétrico utilizado na atividade, através da coleta de dados elétricos do próprio equipamento como potência elétrica, corrente elétrica nominal, tensão de operação, rendimento do motor e tempo total de operação. Dessa forma, com base na Tabela 12, a incerteza adotada foi a menor, ou seja, 0,1%;
- Consumo de combustíveis (escopo 3) x Coleta de Dados (por documentos de terceiros): 1,0%. Nesta situação, tanto o consumo de combustível móvel e estacionário do caminhão bomba, quanto do caminhão betoneira, foram obtidos por registros de controle de consumos médios das usinas concreteiras. Portanto, trata-se de coleta de dados por documentos de terceiros, ou seja, equivalente a uma incerteza de 1%;
- Coluna de Lançamento de dados: todos os lançamentos de dados coletados como consumo de materiais, de energia elétrica, de combustível, foram coletados manualmente e transferidos ao software Excel novamente de maneira manual. Adotou-se, portanto, a incerteza de 1,5%;
- Fabricação de materiais (escopo 3) x Conversão (conversão dimensional): 0,6%. Todos os registros de consumo de concreto apresentaram uma unidade padrão em volume, porém para a estimativa de emissões de CO₂, nesta pesquisa de mestrado, foram realizadas conversões visando obter dados de emissões por área construída, portanto, adotou-se a maior incerteza;

- Energia adquirida (escopo 2) x Conversão (não é necessário converter): com base nos dados técnicos obtidos diretamente nos equipamentos elétricos a determinação da energia elétrica consumida é direta na unidade padrão para estimativa de emissão por consumo de energia elétrica, portanto, 0,1%;
- Fabricação de materiais (escopo 3) x Fatores de emissão (específico): 1,0%. Em toda essa pesquisa de mestrado os fatores de emissão relacionadas aos materiais e serviços de construção civil apresentaram-se completamente específicos;
- Energia adquirida (escopo 2) x Fatores de emissão (específico): 0,5%. Neste caso, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação divulga anualmente o fator de emissão médio pelo consumo de energia elétrica;
- Consumo de combustíveis (escopo 3) x Fatores de emissão (específico): 0,5%. Os fatores de emissão específicos por consumo de combustível móvel, estacionário, são fornecidos pelo Programa Brasileiro GHG Protocol.

Dessa forma, para as atividades de concretagem, fôrmas, armaduras, tabelas e EPS e laje pré-fabricada foram atribuídos valores de incertezas apresentados na tabela 12, onde:

- Σ Coleta de Dados das Atividades na Fase de Supraestrutura: 12,80%
- Σ Lançamento no Sistema na Fase de Supraestrutura: 28,50%;
- Σ Conversões na Fase de Supraestrutura: 4,30%;
- Σ Fatores de Emissão na Fase de Supraestrutura: 15,50%.

Aplicando-se a equação 11, obteve-se uma incerteza para fase de supraestrutura equivalente a 35,14%. Para a determinação dos valores mínimo, médio e máximo de emissão de CO₂ por metro quadrado de construção, para a fase de supraestrutura, por exemplo, o valor mínimo foi estimado pela subtração do valor médio por 35,14% do próprio valor médio, enquanto que para a estimativa do valor máximo se trata da soma do valor médio com 35,14% do próprio valor médio.

Os mesmos critérios foram aplicados a estimativa de incerteza para as fases de alvenaria e revestimento de argamassa interna, 15,72% e 11,52%, respectivamente.

4. DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DOS DADOS

4.1 Fase de Supraestrutura

A fase de supraestrutura, nesta pesquisa, é composta pelas atividades de concretagem de elementos estruturais (laje, viga e pilar), produção de fôrmas de madeira, aço para produção de armaduras, uso de escoras de aço ou madeira, aplicação de tabelas (tijolo de laje) e EPS para produção de lajes nervuradas e utilização de elemento estrutural pré-fabricado, especificamente a vigota treliçada tipo “T”.

O serviço de concretagem pode ser caracterizado pela presença de elementos comuns, em todos os cenários avaliados, como: caminhões betoneira, caminhões bomba, bomba estacionária, mangueira e vibrador de concreto (Figura 38). Além disso, todas as obras aplicam métodos de controle da qualidade do concreto usinado através de listas de verificação, na qual recebe, pelo menos, três denominações diferentes: Coleta de Amostra em Obra, Registro de Inspeção para Recebimento de Concreto Usinado e Relatório de Controle de Recebimento de Concreto.



Figura 38. Concretagem da laje, vigas e pilares do Pavto Tipo da Obra “F”.

Fonte: Autor, 2013.

Os documentos de controle da qualidade do concreto contém quesitos básicos a serem preenchidos, no momento da concretagem, como número do caminhão betoneira, número da nota fiscal, número do

laque, data da concretagem, volume de concreto, hora de saída da usina, hora de chegada na obra, hora do início da descarga, hora do final da descarga, *slump* inicial (cm), *slump* final (cm), água adicionada., elementos concretados, com especificação do pavimento tipo, *fck* especificado, volume previsto, entre outros.

A partir dos dados, verificou-se que o tempo médio do fornecimento de concreto usinado por sistema caminhão basculante + caminhão bomba para a Obra A foi de 17 minutos, Obra B foi de 22 minutos, Obra C 25 minutos, Obra D 29 minutos, Obra E 30 minutos e Obra F 34 minutos. Quanto à duração média total de um serviço de concretagem consiste em uma jornada contínua de 8 a 9 horas. Durante todo o serviço de concretagem dos elementos estruturais o equipamento vibrador de concreto permanece em plena operação.

Além dos registros de recebimento de concreto usinado, outro meio disponível a obtenção de dados referentes ao volume de concreto aplicado nos elementos estruturais, presentes nos pavimentos tipo, são os projetos estruturais. É comum a presença de quadros de resumo nas plantas de projetos estruturais, nas quais identificam o elemento estrutural e o respectivo volume de concreto aplicado.

Por fim, têm-se os diários de obra, onde constam informações detalhadas de consumo de materiais de construção. Na Obra A o diário de obra foi elaborado para a fase de supraestrutura, pela empresa subcontratada responsável pelos projetos estruturais. Nesse documento há registros de consumos médios de volume concreto, peso do aço de variadas bitolas, área de fôrma, por elemento estrutural presente em cada pavimento tipo.

Os dois documentos de registros somados a planta de projeto estrutural são fontes de informações para etapa de coleta de dados sobre as atividades. Os consumos médios, por pavimento tipo, consistem em: 160,72m³ na Obra A, 105m³ Obra B, 144,04m³ Obra C, 131,50 Obra D, 124m³ Obra E e 48m³ Obra F.

As medições de consumo de madeira para produção de fôrmas foi especificamente aplicada a tábuas e sarrafos de pinus, onde os consumos médios, por pavimento tipo, consistiram em: 1.410,33 m² na Obra A, 896,54 m² na Obra B, 1.216,95 m² na Obra C, 1.035,25 m² na Obra D, 1.025,25 m² na Obra E e 914,38 m² na Obra F. A seguir, nas figuras 39 e 40, demonstra-se o setor de carpintaria e uma serra de bancada:



Figura 39. Setor de Carpintaria – Obra C.
Fonte: Autor, 2013.



Figura 40. Setor de Carpintaria – Serra de Bancada – Obra D.
Fonte: Autor, 2013.

A determinação do volume de madeira de fôrma consumida foi simplificada pelo o produto da área pela espessura padrão comercial equivalente a 0,025 m, observada em tábuas de pinus presentes em todas

as obras. Nos levantamentos *in loco*, notaram-se variações da espessura entre 0,023 a 0,025.



Figura 41. Setor de Carpintaria – Medição de espessura da tábua de pinus – Obra E.

Fonte: Autor, 2013.

A aplicação de painéis compensados, para produção de fôrmas, é concorrente a tábua de pinus. Em todos os cenários avaliados (obras) se observou um *mix* de painéis compensados com tábuas de pinus, em fôrmas de laje, viga e pilar. Abaixo, demonstra-se o uso de tábuas e sarrafos de pinus, em fôrmas para produção de vigas.



Figura 42. Fôrmas composta por tábuas e sarrafos de pinus – Obra F.

Fonte: Autor, 2013.

Segundo Polzl (2011) a produção da madeira compensada iniciou-se na década de 1940, atingindo níveis significativos a partir dos anos 70, sendo que o Brasil está posicionado entre os principais produtores mundiais de compensado.

O painel compensado é composto de várias lâminas desenroladas, unidas cada uma, perpendicularmente à outra, através de adesivo ou cola, sempre em número ímpar, de forma que uma compense a outra, fornecendo maior estabilidade e possibilitando que algumas propriedades físicas e mecânicas sejam superiores às da madeira original (ZENID, 2009).

No mercado há ainda as opções de madeira aglomerada como o OSB (*Oriented Strand Board*), que consiste em um material derivado da madeira, composto por pequenas lascas de madeira orientadas em direção aleatória e o MDF (*High Density Fiberboard*), que é fabricado através da aglutinação de fibras de madeira com resinas sintéticas e outros aditivos.

Com relação à densidade, segundo Abimci (2007) para painéis com 12mm e 18mm, a densidade média consiste em 552 kg/m³ e 557 kg/m³, respectivamente.

Na tentativa de se estimar um fator de emissão (FE) do madeirite resinado, através de um cenário de referência com base em pesquisa bibliográfica, determinou-se o seguinte fluxograma de processo de produção, a seguir, na Figura 43.

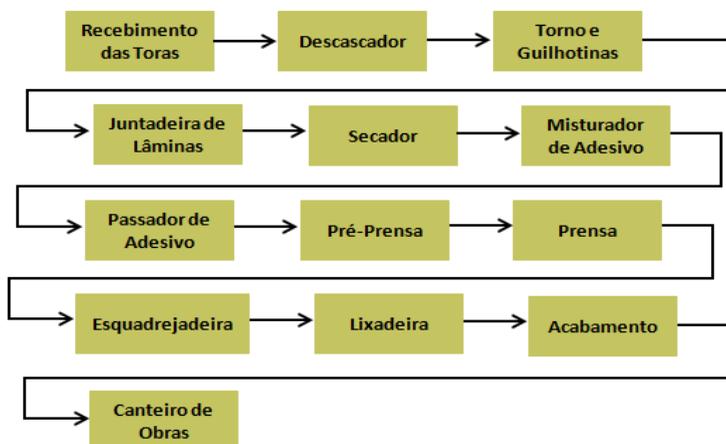


Figura 43. Planta representativa do processo de produção da madeira resinada. Fonte: Informações obtidas em sites de empresas fabricantes de máquinas para o processo, 2013.

Constatou-se que dados referentes à etapa de Acabamento são dispersos e pouco precisos. Outro fator limitante se refere à escassez de detalhes sobre atividades e máquinas em todo o processo produtivo.

As medições referentes ao consumo de aço, para produção de armaduras, consistem na soma, em quilogramas, de todas as barras de aço, nas mais variadas bitolas. Todas as barras de aço são fornecidas inteiras as obras, onde cortes, com máquina policorte, e armações são realizadas somente nos canteiros de obras (Figura 44).

Com relação ao consumo médio de aço, por pavimento tipo, as obras apresentaram o seguinte: 13.080,09kg na Obra A, 10.200,00kg na Obra B, 10.142,50kg na Obra C, 10.790,00kg na Obra D, 9.884,00kg na Obra E e 3.247,98kg na Obra F.

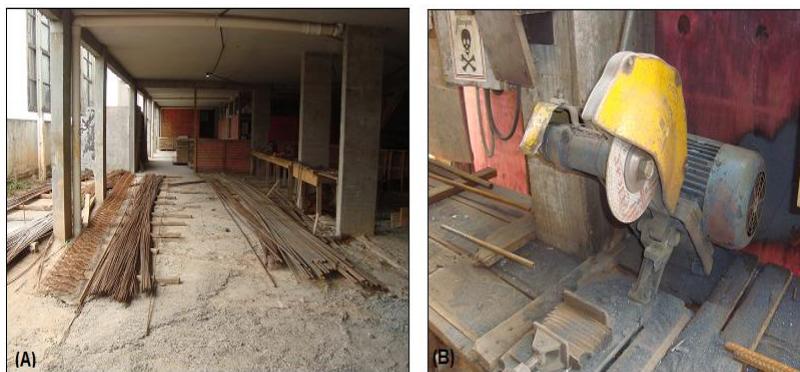


Figura 44. (A) Setor de Armação – (B) Máquina Policorte – Obra C.

Fonte: Autor, 2013

Com relação às escoras, somente as obras E e F utilizam escoras de madeira de eucalipto, de diâmetro médio de 0,10m e altura de 3,0m, enquanto que as demais utilizam as escoras metálicas de 3m de altura (Figura 45). Destaca-se que não há, na bibliografia, um fator de emissão de CO₂ específico para escoras. Dessa forma, para ambas as escoras são realizadas conversões com base em fatores de emissão, massa e densidade, de madeira de fôrma e aço, respectivamente.



Figura 45. (A) Escora de eucalipto - Obra F – (B) Escora Metálica – Obra C.

Fonte: Autor, 2013.

As quantidades de escoras, tanto de madeira quanto metálicas, utilizadas, por pavimento tipo, em todos os cenários avaliados são próximas, sendo em média 1.000 unidades (un.) metálicas na Obra A, 1.100 un. Obra B, 1.000 un. Obra C e Obra D. Quanto às escoras de eucalipto foram utilizadas, por pavimento tipo, 1.600 un. Na Obra E e 1.000 un. Obra F.

No processo de produção do elemento estrutural laje, há um equilíbrio entre obras, no que se refere à aplicação de blocos cerâmicos furados, denominados blocos de laje ou tavela e blocos de poliestireno expandido, conhecidos por blocos de EPS (Figura 46).



Figura 46. Blocos de EPS estocados – Obra C.

Fonte: Autor, 2013

Os blocos de EPS são utilizados na produção de laje do tipo nervurada (Figura 46). Em média, o consumo de bloco de laje das obras A, D e E, por pavimento tipo, corresponde a: 5.000 un., 4.000 un. e 9.000 un., respectivamente. Nas obras B, C e F o consumo de blocos de

EPS, por pavimento tipo, corresponde a: 2.300 un., 4.500 un. e 700 un., respectivamente.



Figura 47. Laje nervurada – Obra B.

Fonte: Autor, 2013.

Dentre os cenários avaliados, as obras D e F utilizaram lajes pré-fabricadas, vigotas treliçadas tipo “T”, nas quantidades de 400 m e 726,40 m, respectivamente. Na Figura 48, demonstra-se a utilização de tabelas e laje pré-fabricada na Obra D:



Figura 48. Laje pré-fabricada e tabelas – Obra D.

Fonte: Autor, 2013.

A logística interna do canteiro de obras é caracterizada, principalmente, pelos fluxos horizontais e verticais de serviços e materiais de construção. O concreto usinado, em todas as obras avaliadas, foi bombeado por meio de caminhão bomba e tubos estacionários. À medida que o edifício avança na construção dos pavimentos, adiciona-se novo trecho de tubo estacionário.

Os fluxos horizontais da madeira de fôrma, do aço, das escoras de madeira e metálica, do tijolo de laje, EPS e laje pré-fabricada ocorrem de maneira manual, com auxílio de equipamentos de transporte como, por exemplo, carrinhos de mão.

Já o deslocamento vertical dos materiais de construção ocorre por duas vias principais: elevador de cargas ou guincho de coluna. Nos cenários avaliados não havia guas.

As madeiras de fôrma, escoras de madeira e metálica são deslocados manualmente por trabalhadores, de pavimento para pavimento, portanto, não ocorre uso de elevadores e/ou guincho de coluna. Consequentemente, não há emissão de CO₂ embutida nesses materiais, pelo uso de energia elétrica para o deslocamento até os pavimentos tipo. Os demais materiais de construção como o aço, tijolo de laje, EPS e laje pré-fabricada são deslocados verticalmente por elevadores (Figura 49) ou guincho de coluna (Figura 50).



Figura 49. Elevador de Cargas – Obra D.

Fonte: Autor, 2013.



Figura 50. (A) Guincho de Coluna - Obra B – (B) Detalhe do motor do guincho de coluna – Obra C.

Fonte: Autor, 2013.

A logística externa ao canteiro de obras é caracterizada principalmente pelo transporte de materiais de construção e fornecimento de serviço, como o de concretagem.

De maneira geral, em todos os cenários avaliados o fornecimento de concreto usinado ocorreu através de caminhões betoneira com capacidade de carga equivalente a 8m^3 e caminhões bomba; as tábuas, sarrafos de pinus e escoras de eucalipto por caminhões carroceria de madeira com capacidade média de carga de 22m^3 ; o aço é transportado predominantemente em barras inteiras em caminhões carroceria de madeira com capacidade de carga equivalente 18t. As características do transporte de escoras metálicas são similares as do transporte do aço. A mesma capacidade de carga se aplica aos caminhões transportadores de laje pré-fabricada.

O transporte de tijolos de laje e EPS ocorrem em caminhões com capacidade média de carga de 15 t.

Com relação à distância dos fornecedores de serviços e materiais de construção as concreteiras estão localizadas a um raio médio de 7km das obras; os fornecedores de madeira e sarrafo para produção de fôrmas, em cinco obras, de 8,5km e 225km na Obra F; os fornecedores ou distribuidores de aço em um raio médio de 7,8km; bloco de laje de 81,4km; EPS de 188,3km; escora de madeira está a um

raio de 9,5km da Obra E e 225km da Obra F; escora metálica de 220,6km e laje pré-fabricada de 9,3km.

Quanto à autonomia dos veículos de transporte varia de 4,0 a 4,5 quilômetros rodado por litro de diesel. No caso de caminhões betoneira e bomba rodando a autonomia média registrada equivale a 3,3km/litro de combustível. Já o consumo de combustível, na condição de basculação e bombeamento de concreto usinado, consiste em média 1,7l/m³ de concreto.

As emissões de CO₂ por consumo de materiais de construção transporte de materiais de construção e fornecimento de serviços considerou o sistema porteira do fornecedor a porteira da obra. Os fatores de emissão dos materiais de construção, obtidos em fontes bibliográficas, consideram as emissões pela extração e transporte de matéria-prima aos centros de transformação/beneficiamento, pelo consumo de energia elétrica durante o processo de transformação/beneficiamento de matéria-prima e outras emissões relacionadas ao produto final/acabado. Assim, na elaboração do inventário de emissões, em cada fase analisada, não há possibilidade de dupla contabilização.

Para exemplificar, os memoriais de cálculo de emissões de CO₂ da “Obra B”, na fase de supraestrutura, na qual aborda todos os aspectos relacionados à área de pavimentos tipo, consumo de materiais de construção por pavimento tipo, consumo de energia elétrica no transporte de materiais de construção, consumo de combustível fóssil no transporte dos materiais de construção, tempos de operação na produção de fôrmas, armaduras, tempos de deslocamentos verticais são apresentados no Apêndice A, desta pesquisa de mestrado.

4.2 Fase de Alvenaria

A fase de alvenaria, nesta pesquisa, é composta pelas atividades de assentamento de blocos cerâmicos furados (tijolos) e produção de argamassa de assentamento.

Em todos os cenário avaliados foi utilizado tijolo de 0,115m de largura x 0,190m de comprimento x 0,190m de altura, presentes em baixo relevo no próprio material, cujo peso médio, segundo os fabricantes e fornecedores equivale a 2,80kg.

A medição do número de blocos cerâmicos em de parede foi realizada com base no método do esquadro de , conforme descrito no Método desta pesquisa de mestrado e demonstrado na Figura 51.

Dessa forma, obtiveram-se em amostras $n=10$, todas ajustadas a uma curva normal, com 95% de confiabilidade, para a Obra A uma média de 0,80 de tijolo por metro quadrado de parede; Obra B 0,89 de tijolo/ m^2 de parede; Obra C 0,935 m^2 de tijolo/ m^2 de parede; Obra D 0,913 m^2 de tijolo/ m^2 de parede; Obra E 0,880 m^2 de tijolo/ m^2 de parede e Obra F 0,886 m^2 de tijolo/ m^2 de parede.



Figura 51. (A) Esquadro de destacado por giz branco – (B) Medição de 1m linear na horizontal.

Fonte: Autor, 2013.

Após a marcação de na parede, procede-se a subtração desse da área total do tijolo em de parede. O resultado consiste na área de argamassa de assentamento, que posteriormente multiplicada a largura do bloco cerâmico, resulta em um volume (m^3) estimado de argamassa de assentamento.

Os valores de consumo de argamassa de assentamento por de parede obtidos correspondem a: 0,023 m^3 na Obra A; 0,012 m^3 na Obra B; 0,024 m^3 na Obra C; 0,010 m^3 na Obra D; 0,014 m^3 na Obra E e 0,013 m^3 na Obra F.

A estimativa média de consumo de argamassa de assentamento em um pavimento tipo se baseia no traço determinado por cada obra e na medida padrão padiola (Figura 52) ou balde, por meio da cubagem de equipamentos transportadores de argamassa (Figura 53) até o pavimento tipo como carrinhos, jericas ou caixas de argamassa, no número de carrinhos, jericas ou caixas preenchidas em uma virada de

betoneira, na situação de argamassa produzida em obra, ou na mediação do volume de argamassa estabilizada fornecida, na situação de argamassa produzida em usinas.

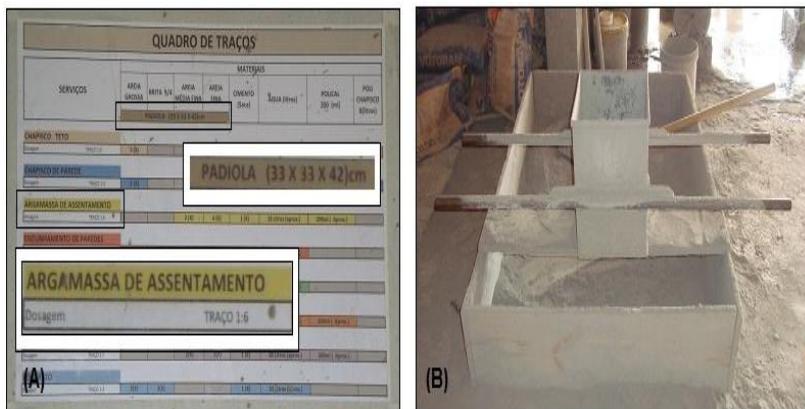


Figura 52. (A) Quadro de Traços fixado na central de produção de argamassas, com destaque para o traço da argamassa de assentamento e das dimensões da padiola – (B) Padiola 33x33x42cm.

Fonte: Autor, 2013.

Para cada componente da argamassa de assentamento como cimento, agregados como areia fina, média, areia fina misturada com cal, por exemplo, há, portanto, a determinação prévia do número de baldes ou padiolas, que posteriormente sofrem mistura na betoneira e, com adição de água, após uma virada, resulta na argamassa.

Após a cubagem de carrinhos, jericas e caixas de argamassa, torna-se possível estimar o volume de argamassa de assentamento produzida, em uma virada, conforme o traço determinado. Com base no volume de argamassa de assentamento estimado pelo método do esquadro de , obtém-se por proporcionalidade o volume, em m^3 , de argamassa de assentamento consumido por pavimento tipo, conforme apresentado anteriormente no Método, da pesquisa. Em média, estima-se que o volume do carrinho seja de $0,086m^3$, a jericas de $0,14m^3$ e a caixa de $0,2m^3$. Na Figura 53, demonstra-se um carrinho e uma caixa para transporte e acondicionamento de argamassa:



Figura 53. (A) Carrinho com um volume estimado de $0,086\text{m}^3$ – (B) Caixa volume de $0,20\text{m}^3$.

Fonte: Autor, 2013.

Através da determinação do volume (m^3) de argamassa de assentamento consumido por m^2 de parede, dos projetos arquitetônicos de pavimentos tipo para a medição do metro linear de parede e da altura do pé direito, obteve-se os volumes totais estimados de argamassa de assentamento.

Nesse contexto, os volumes totais consumidos estimados por pavimento tipo, equivalem a: $26,00\text{ m}^3$ de argamassa de assentamento na Obra A; $10,07\text{ m}^3$ Obra B; $28,87\text{ m}^3$ (estabilizada) Obra C; $16,55\text{ m}^3$ Obra D; $14,64\text{ m}^3$ Obra E e $8,44\text{ m}^3$ Obra F.

Os memoriais de cálculo, na fase de alvenaria da “Obra B”, na qual aborda todos os aspectos relacionados à área de pavimentos tipo, consumo de materiais de construção por pavimento tipo, consumo de energia elétrica no transporte de materiais de construção, consumo de combustível fóssil no transporte dos materiais de construção, tempos de operação na produção de argamassa, tempos de deslocamentos verticais, encontram-se no Apêndice B, desta pesquisa de mestrado.

4.3 Fase Revestimento Interno (Reboco)

A fase de revestimento interno, especificamente reboco de parede, nesta pesquisa, é composta pela atividade de produção de argamassa de revestimento ou massa de reboco.

O método aplicado é similar ao utilizado na fase de alvenaria, quanto aos procedimentos de amostragem, de cubagem de equipamentos

de transporte e acondicionamento de argamassa. Adotou-se quanto aos traços e medida padrão, razões de proporcionalidade, novamente, os mesmos métodos.

A medição do consumo de argamassa de revestimento consistiu na contagem, no pavimento tipo, do número de carrinhos, jericas ou caixas, consumidos para preencher determinada área de parede. A cada esvaziamento de equipamento de acondicionamento e transporte de argamassa mediu-se a área de parede rebocada.

Dos cenários avaliados em cinco a argamassa de revestimento é produzida em obra e em um cenário a argamassa é produzida em usina. Quanto à forma de aplicação em cinco obras ocorre com uso de colher de pedreiro e em uma obra a aplicação ocorre via máquina projetora de argamassa (Figura 54), com sarrafeamento realizado com régua.



Figura 54. (A) Máquina Projetora – Obra C – (B) Mangueira projetora acoplada a máquina projetora.

Fonte: Autor, 2013.

Os volumes totais consumidos estimados, por pavimento tipo, equivalem a: 34,26 m³ de argamassa de revestimento na Obra A; 26,60 m³ Obra B; 53,90 m³ Obra C; 63,08 m³ Obra D; 37,01 m³ Obra E e 24,27 m³ Obra F.

Os memoriais de cálculo, na fase de revestimento interno (Reboco) da “Obra B”, na qual aborda todos os aspectos relacionados a área de pavimentos tipo, consumo de materiais de construção por pavimento tipo, consumo de energia elétrica no transporte de materiais

de construção, consumo de combustível fóssil no transporte dos materiais de construção, tempos de operação na produção de argamassa, tempos de deslocamentos verticais, encontram-se no Apêndice C, deste trabalho de pesquisa.

Apenas para exemplificar a origem do cruzamento de dados de atividade que resultaram em emissões por área, em cada categoria, como por consumo de material de construção, energia elétrica, combustível, utilizou-se a Obra B como cenário padrão de referência, cuja informação consta nos apêndices A (Supraestrutura), B (Alvenaria) e C (Reboco).

4.4 Resumo dos consumos de materiais e serviço de construção

No Quadro 2, demonstra-se um resumo do quantitativo dos principais materiais e serviço de construção civil, utilizados nas seis obras avaliadas, nesta pesquisa de mestrado, como: concreto usinado, madeira para produção de fôrmas, aço para produção de armaduras, blocos cerâmicos (11,5 x 19 x 19 cm), argamassa de assentamento e argamassa de revestimento interno, especificamente o reboco.

Consumos médios de materiais e serviço de construção civil						
	Fase de Supraestrutura			Fase de Alvenaria		Fase Revestimento Interno
Obra	Concreto Usin. (m³)	Mad. de Fôrma (m²)	Aço para Armadura (kg)	Bloco cer. (un.)*	Arg. Assent. (m³)	Arg. Revest. (m²)
A	160,0	1.410,33	13.080,00	25.000,00	26,00	34,26
B	105,0	896,54	10.200,00	20.700,00	10,07	26,60
C	144,0	1.216,95	10.142,50	26.400,00	28,87	53,90
D	131,5	1.035,25	10.790,00	41.388,75	16,55	63,08
E	124,0	1.025,25	9.884,00	25.500,00	14,64	37,01
F	48,0	914,38	3.247,98	16.225,00	8,44	24,27

Quadro 2. Resumo sobre os consumos médios de materiais e serviço de construção

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo 5, apresentam-se os resultados da contabilização de emissões de CO₂, oriundas do consumo de materiais de construção, consumo de energia elétrica no processo de transporte de transformação de materiais de construção e consumo de combustíveis fóssil e biocombustível, no transporte relacionado a serviços e materiais de construção.

A adição de 5% foi estabelecida, no cômputo das emissões, baseada na Lei 11.097/05, que estabelece o percentual obrigatório de 5% de adição de biodiesel ao diesel a partir do ano de 2013.

A análise de resultados e suas discussões objetiva comprovar a aplicabilidade do método de levantamento de dados de atividade as fases de supraestrutura, alvenaria e revestimento interno (Reboco), na etapa da construção de edifícios verticais.

A escolha dos fatores de emissões específicos a materiais de construção, energia elétrica e combustível foi determinada por uma análise de linearidade (Apêndice D).

No cruzamento entre dados de atividades com fatores de emissão, para contabilização de emissões, consideraram-se os cinco princípios da ferramenta de cálculo de emissões, disponibilizada pela versão brasileira do programa GHG Protocol.

Diante da crescente evolução na construção de edifícios verticais, na Região da Grande Florianópolis, principalmente nos municípios de Florianópolis, São José, Palhoça e Biguaçu, a elaboração de um “perfil” de emissões de CO₂, na etapa da construção de edifícios, poderá significar uma oportunidade de inserção dessa etapa, no âmbito das emissões.

Paralelamente a essa evolução, observa-se o crescimento também de leis, normas de proteção ambiental e de incentivos econômicos a atividades compromissadas com as questões de emissões de CO₂.

5.1 Fase de Supraestrutura

As correlações entre as variáveis emissões de CO₂, em quilogramas, pelo consumo de materiais de construção, energia elétrica associada e de combustível no transporte desses materiais, com a área construída dos pavimentos tipo, em metros quadrados, determinaram a escolha dos fatores de emissão de CO₂ específico de materiais de construção. Os fatores de emissão associados à energia elétrica e

combustíveis foram fixados pelo Ministério de Ciência e Tecnologia e planilha do Programa Brasileiro GHG Protocol (2012), respectivamente.

Após análise dos coeficientes de determinação de linearidade Apêndice D, os seguintes fatores de emissão de CO₂ foram eleitos para o consumo de materiais e serviços de construção, no processo de contabilização de emissões da fase proposta:

- Concreto: 225 kgCO₂/m³ (LIMA, 2010);
- Madeira de Fôrma: 480 kgCO₂/m³ (BATH, 2011);
- Aço de Armadura e de Escora Metálica: 1,845 kgCO₂/kg (COSTA, 2012);
- Escora de madeira: 0,720 kgCO₂/kg (BATH, 2011);
- Tijolo de Laje: 0,111 kgCO₂/kg (COSTA, 2012);
- EPS: 3,29 kgCO₂/kg (BATH, 2011);
- Laje pré-fabricada Vigota “T”: 7,33 kgCO₂/m linear (AUTOR, 2013).

O fator de emissão de CO₂ relacionado ao consumo de energia elétrica:

- Energia elétrica: 0,5932 kgCO₂/kWh.

Já o fator de emissão de CO₂ pelo consumo de combustível:

- Diesel combustível (Emissão móvel direta): 2,6710 kgCO₂/l (GHG Protocol, 2012);
- Biodiesel (Emissão móvel direta): 2,4991 kgCO₂/l (GHG Protocol, 2012);
- Diesel combustível (Emissão estacionária direta): 2,6000 kgCO₂/l (GHG Protocol, 2012);
- Biodiesel (Emissão estacionária direta): 2,3000 kgCO₂/l (GHG Protocol, 2012).

As variáveis de conversão de massa, volume, área, entre outros, encontram-se listadas no capítulo 3, desta pesquisa.

. O resultado das emissões de CO₂, nos cenários avaliados, é apresentado da seguinte maneira:

1º Obra A

Tabela 13. Emissões relacionadas ao concreto - Obra A

Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Lima (2010)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de concreto (kgCO ₂ /m ²)	56,8100
Emissão pelo consumo de energia elétrica do vibrador de concreto (kgCO ₂ /m ²)	0,0117
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Basculante (kgCO ₂ /m ²)	1,7100
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Bomba (kgCO ₂ /m ²)	1,2300
TOTAL (kgCO₂/m²)	59,76

Tabela 14. Emissões relacionadas à madeira de fôrma - Obra A

Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Bath (2011)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de madeira (kgCO ₂ /m ²)	25,5899
Emissão pelo consumo de energia elétrica da serra de bancada (kgCO ₂ /m ²)	0,3702
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,0595
TOTAL (kgCO₂/m²)	26,02

Tabela 15. Emissões relacionadas ao aço de armaduras - Obra A

Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de aço (kgCO ₂ /m ²)	37,9160
Emissão pelo consumo de energia elétrica da policorte (kgCO ₂ /m ²)	0,2776
Emissão pelo consumo de energia elétrica do guincho de coluna (kgCO ₂ /m ²)	0,0185
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,0265
TOTAL (kgCO₂/m²)	38,24

Tabela 16. Emissões relacionadas à escora metálica - Obra A

**Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Costa
(2012)**

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de aço de escora (kgCO ₂ /m ²)	34,7851
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,2603
TOTAL (kgCO₂/m²)	35,05

Tabela 17. Emissões relacionadas ao tijolo de laje - Obra A

**Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Costa
(2012)**

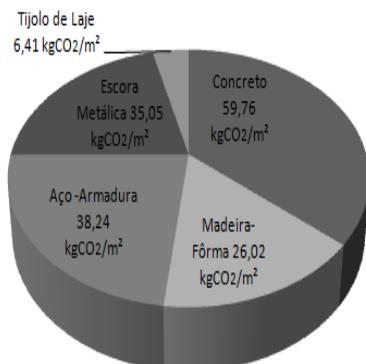
Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de tijolo de laje (kgCO ₂ /m ²)	6,1039
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0023
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,3052
TOTAL (kgCO₂/m²)	6,41

Tabela 18. Resumo de emissões de CO₂ na fase de supraestrutura - Obra A

TOTAL (kgCO₂/m²)	165,48
-----------------------------------------------	---------------

A representação gráfica das emissões de CO₂, na fase de supraestrutura da Obra A, em kgCO₂/m² construído e em porcentagem (%), demonstra-se abaixo:

Resumo de Emissões em kgCO₂/m² construído



Resumo de Emissões de CO₂ em %

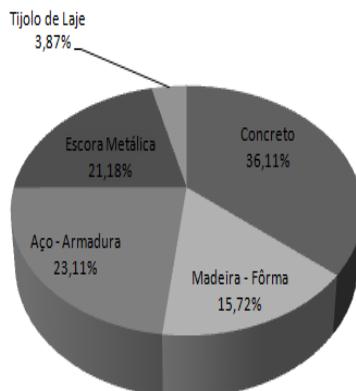


Figura 55. Resumo de emissões de CO₂ em kgCO₂/m² e % - Obra A

2º Obra B

Tabela 19. Emissões relacionadas ao concreto - Obra B

Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Lima (2010)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de concreto (kgCO ₂ /m ²)	25,8300
Emissão pelo consumo de energia elétrica do vibrador de concreto (kgCO ₂ /m ²)	0,0082
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Basculante (kgCO ₂ /m ²)	0,5799
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Bomba (kgCO ₂ /m ²)	0,5058
TOTAL (kgCO₂/m²)	26,92

Tabela 20. Emissões relacionadas à madeira de fôrma - Obra B
**Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Bath
 (2011)**

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de madeira(kgCO ₂ /m ²)	11,7618
Emissão pelo consumo de energia elétrica da serra de bancada (kgCO ₂ /m ²)	0,0642
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,0103
TOTAL (kgCO₂/m²)	11,84

Tabela 21. Emissões relacionadas ao aço de armaduras - Obra B
**Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Costa
 (2012)**

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de aço (kgCO ₂ /m ²)	20,5740
Emissão pelo consumo de energia elétrica da policorte (kgCO ₂ /m ²)	0,0644
Emissão pelo consumo de energia elétrica do guincho de coluna (kgCO ₂ /m ²)	0,0129
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,0155
TOTAL (kgCO₂/m²)	20,67

Tabela 22. Emissões relacionadas à escora metálica - Obra B
**Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Costa
 (2012)**

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de aço de escora (kgCO ₂ /m ²)	26,6251
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,4916
TOTAL (kgCO₂/m²)	27,12

Tabela 23. Emissões relacionadas ao EPS - Obra B
Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Bath (2011)

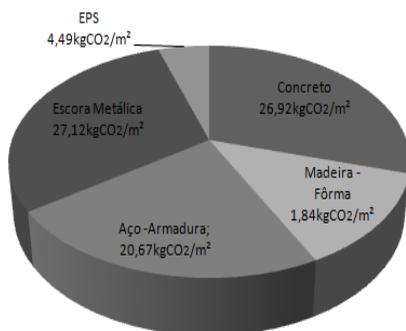
Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de EPS (kgCO ₂ /m ²)	4,2191
Emissão pelo consumo de energia elétrica do guincho de coluna (kgCO ₂ /m ²)	0,0064
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,2618
TOTAL (kgCO₂/m²)	4,49

Tabela 24. Resumo de emissões de CO₂ na fase de supraestrutura - Obra B

TOTAL (kgCO₂/m²)	91,03
-----------------------------------------------	--------------

A representação gráfica das emissões de CO₂, na fase de supraestrutura da Obra B, em kgCO₂/m² construído e em porcentagem (%), demonstra-se na figura 56, na página 121, a seguir.

Resumo de Emissões em kgCO₂/m² construído



Resumo de Emissões de CO₂ em %

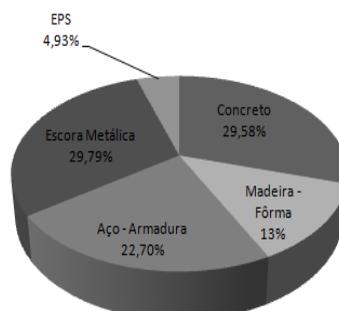


Figura 56. Resumo de emissões de CO₂ em kgCO₂/m² e % - Obra B

3º Obra C

Tabela 25. Emissões relacionadas ao concreto - Obra C
Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Lima (2010)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de concreto (kgCO ₂ /m ²)	45,3336
Emissão pelo consumo de energia elétrica do vibrador de concreto (kgCO ₂ /m ²)	0,0104
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Basculante (kgCO ₂ /m ²)	1,0272
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Bomba (kgCO ₂ /m ²)	0,8929
TOTAL (kgCO₂/m²)	47,26

Tabela 26. Emissões relacionadas à madeira de fôrma - Obra C

Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Bath (2011)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de madeira(kgCO ₂ /m ²)	20,4243
Emissão pelo consumo de energia elétrica da serra de bancada (kgCO ₂ /m ²)	0,4941
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,0149
TOTAL (kgCO₂/m²)	20,93

Tabela 27. Emissões relacionadas ao aço de armaduras - Obra C

Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de aço (kgCO ₂ /m ²)	26,1719
Emissão pelo consumo de energia elétrica da policorte (kgCO ₂ /m ²)	0,1603
Emissão pelo consumo de energia elétrica do guincho de coluna (kgCO ₂ /m ²)	0,0329
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,0429
TOTAL (kgCO₂/m²)	26,41

Tabela 28. Emissões relacionadas à escora metálica - Obra C
Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de aço de escora (kgCO ₂ /m ²)	30,9650
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,3661
TOTAL (kgCO₂/m²)	31,33

Tabela 29. Emissões relacionadas ao EPS - Obra C
Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Bath (2011)

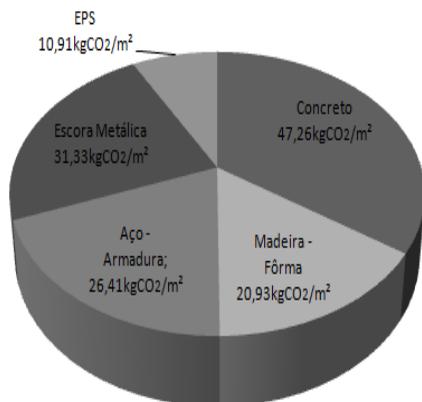
Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de EPS (kgCO ₂ /m ²)	10,5602
Emissão pelo consumo de energia elétrica do guincho de coluna (kgCO ₂ /m ²)	0,0164
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,3349
TOTAL (kgCO₂/m²)	10,91

Tabela 30. Resumo de emissões de CO₂ na fase de supraestrutura - Obra C

TOTAL (kgCO₂/m²)	136,85
-----------------------------------------------	---------------

A representação gráfica das emissões de CO₂, na fase de supraestrutura da Obra C, em kgCO₂/m² construído e em porcentagem (%), demonstra-se abaixo:

Resumo de Emissões em kgCO₂/m² construído



Resumo de Emissões de CO₂ em %

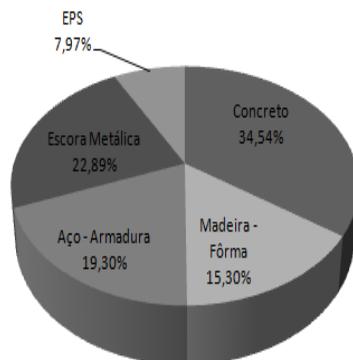


Figura 57. Resumo de emissões de CO₂ em kgCO₂/m² e % - Obra C

4º Obra D

Tabela 31. Emissões relacionadas ao concreto - Obra D

Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Lima (2010)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de concreto (kgCO ₂ /m ²)	35,2526
Emissão pelo consumo de energia elétrica do vibrador de concreto (kgCO ₂ /m ²)	0,0094
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Basculante (kgCO ₂ /m ²)	1,2091
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Bomba (kgCO ₂ /m ²)	0,7039
TOTAL (kgCO₂/m²)	37,18

Tabela 32. Emissões relacionadas à madeira de fôrma - Obra D
**Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Bath
 (2011)**

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de madeira(kgCO ₂ /m ²)	14,8016
Emissão pelo consumo de energia elétrica da serra de bancada (kgCO ₂ /m ²)	0,2806
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,0105
TOTAL (kgCO₂/m²)	15,09

Tabela 33. Emissões relacionadas ao aço de armaduras - Obra D
**Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Costa
 (2012)**

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de aço (kgCO ₂ /m ²)	23,5234
Emissão pelo consumo de energia elétrica da policorte (kgCO ₂ /m ²)	0,1684
Emissão pelo consumo de energia elétrica do guincho de coluna (kgCO ₂ /m ²)	0,0216
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,0152
TOTAL (kgCO₂/m²)	23,73

Tabela 34. Emissões relacionadas à escora metálica - Obra D
**Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Costa
 (2012)**

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de aço de escora (kgCO ₂ /m ²)	26,3791
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,1989
TOTAL (kgCO₂/m²)	26,58

Tabela 35. Emissões relacionadas ao tijolo de laje - Obra D
Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de tijolo de laje (kgCO ₂ /m ²)	2,6715
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0048
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,1657
TOTAL (kgCO₂/m²)	2,84

Tabela 36. Emissões relacionadas à laje pré-fabricada Vigota “T” - Obra D
Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE do Autor (2014)

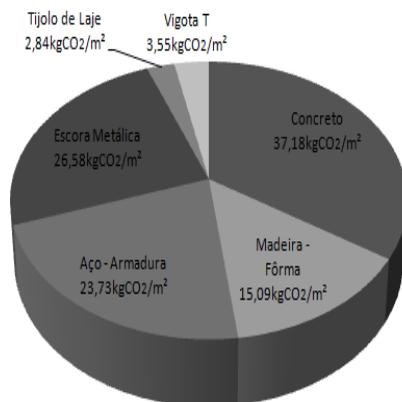
Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de vigota T (kgCO ₂ /m ²)	3,4912
Emissão pelo consumo de energia elétrica do guincho de coluna (kgCO ₂ /m ²)	0,0216
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,0387
TOTAL (kgCO₂/m²)	3,55

Tabela 37. Resumo de emissões de CO₂ na fase de supraestrutura - Obra D

TOTAL (kgCO₂/m²)	108,97
-----------------------------------------------	---------------

A representação gráfica das emissões de CO₂, na fase de supraestrutura da Obra D, em kgCO₂/m² construído e em porcentagem (%), demonstra-se abaixo:

Resumo de Emissões em kgCO₂/m² construído



Resumo de Emissões de CO₂ em %

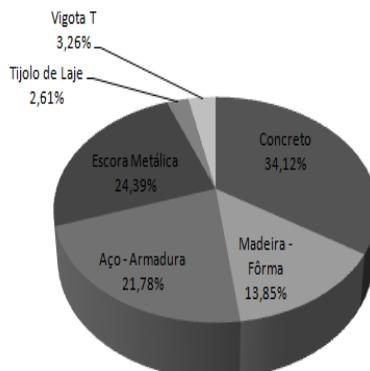


Figura 58. Resumo de emissões de CO₂ em kgCO₂/m² e % - Obra D

5º Obra E

Tabela 38. Emissões relacionadas ao concreto - Obra E
Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Lima (2010)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de concreto (kgCO ₂ /m ²)	48,5733
Emissão pelo consumo de energia elétrica do vibrador de concreto (kgCO ₂ /m ²)	0,013
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Basculante (kgCO ₂ /m ²)	1,1950
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Bomba (kgCO ₂ /m ²)	0,9928
TOTAL (kgCO₂/m²)	50,77

Tabela 39. Emissões relacionadas à madeira de fôrma - Obra E

Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Bath (2011)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de madeira(kgCO ₂ /m ²)	21,4192
Emissão pelo consumo de energia elétrica da serra de bancada (kgCO ₂ /m ²)	0,4021
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,0192
TOTAL (kgCO₂/m²)	21,84

Tabela 40. Emissões relacionadas ao aço de armaduras - Obra E

Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de aço (kgCO ₂ /m ²)	31,7484
Emissão pelo consumo de energia elétrica da policorte (kgCO ₂ /m ²)	0,1436
Emissão pelo consumo de energia elétrica do guincho de coluna (kgCO ₂ /m ²)	0,0409
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,0164
TOTAL (kgCO₂/m²)	31,95

Tabela 41. Emissões relacionadas à escora de madeira - Obra E

Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Bath (2011)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de madeira(kgCO ₂ /m ²)	19,4664
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,0200
TOTAL (kgCO₂/m²)	19,49

Tabela 42. Emissões relacionadas ao tijolo de laje - Obra E
Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de tijolo de laje (kgCO ₂ /m ²)	6,0873
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0069
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,6804
TOTAL (kgCO₂/m²)	6,77

Tabela 43. Resumo de emissões de CO₂ na fase de supraestrutura - Obra E

TOTAL (kgCO₂/m²)	130,82
-----------------------------------------------	---------------

A representação gráfica das emissões de CO₂, na fase de supraestrutura da Obra E, em kgCO₂/m² construído e em porcentagem (%), demonstra-se abaixo:

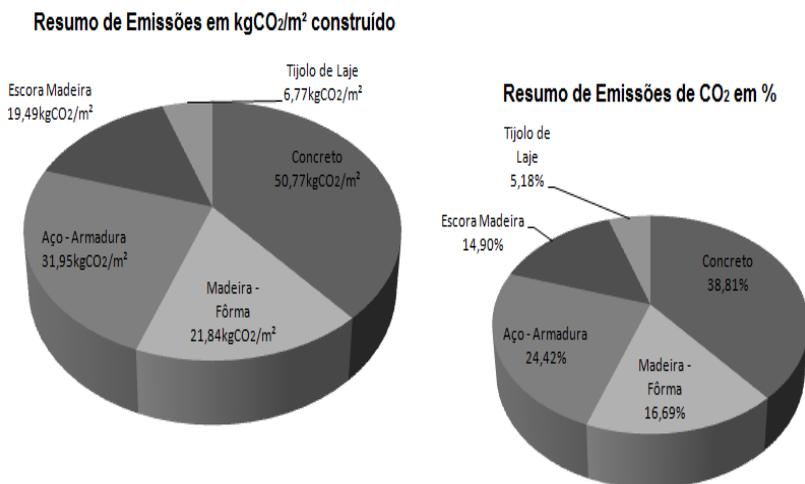


Figura 59. Resumo de emissões de CO₂ em kgCO₂/m² e % - Obra E

6° Obra F

Tabela 44. Emissões relacionadas ao concreto - Obra F
Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Lima (2010)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de concreto (kgCO ₂ /m ²)	27,3868
Emissão pelo consumo de energia elétrica do vibrador de concreto (kgCO ₂ /m ²)	0,019
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Basculante (kgCO ₂ /m ²)	0,6343
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Bomba (kgCO ₂ /m ²)	0,5515
TOTAL (kgCO₂/m²)	28,59

Tabela 45. Emissões relacionadas à madeira de fôrma - Obra F
Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Bath (2011)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de madeira(kgCO ₂ /m ²)	27,8244
Emissão pelo consumo de energia elétrica da serra de bancada (kgCO ₂ /m ²)	0,1494
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,6751
TOTAL (kgCO₂/m²)	28,65

Tabela 46. Emissões relacionadas ao aço de armaduras - Obra F
Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de aço (kgCO ₂ /m ²)	15,1960
Emissão pelo consumo de energia elétrica da policorte (kgCO ₂ /m ²)	0,4265
Emissão pelo consumo de energia elétrica do guincho de coluna (kgCO ₂ /m ²)	0,0596
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,0180
TOTAL (kgCO₂/m²)	15,70

Tabela 47. Emissões relacionadas à escora de madeira - Obra F
Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Bath (2011)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de madeira(kgCO ₂ /m ²)	17,7211
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,6800
TOTAL (kgCO₂/m²)	18,40

Tabela 48. Emissões relacionadas ao EPS - Obra F
Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Bath (2011)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de EPS (kgCO ₂ /m ²)	2,9784
Emissão pelo consumo de energia elétrica do guincho de coluna (kgCO ₂ /m ²)	0,0024
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,0219
TOTAL (kgCO₂/m²)	3,00

Tabela 49. Emissões relacionadas à laje pré-fabricada Vigota “T” - Obra F
Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE do Autor (2014)

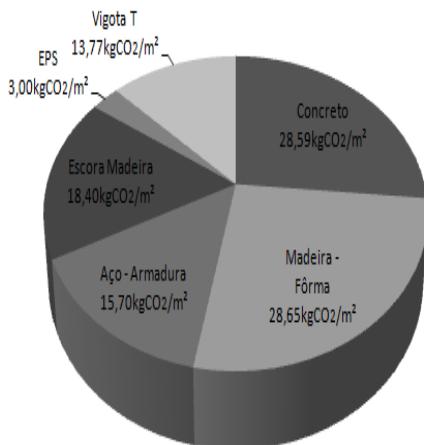
Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de vigota T (kgCO ₂ /m ²)	13,5020
Emissão pelo consumo de energia elétrica do guincho de coluna (kgCO ₂ /m ²)	0,2447
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,0219
TOTAL (kgCO₂/m²)	13,77

Tabela 50. Resumo de emissões de CO₂ na fase de supraestrutura - Obra F

TOTAL (kgCO₂/m²)	108,11
-----------------------------------------------	---------------

A representação gráfica das emissões de CO₂, na fase de supraestrutura da Obra F, em kgCO₂/m² construído e em porcentagem (%), demonstra-se abaixo:

Resumo de Emissões em kgCO₂/m² construído



Resumo de Emissões de CO₂ em %

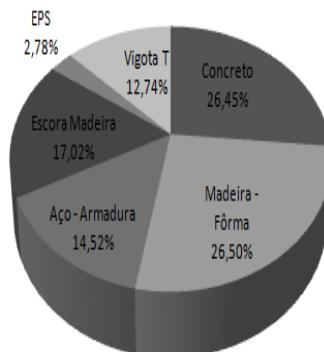


Figura 60. Resumo de emissões de CO₂ em kgCO₂/m² e % - Obra F

O fator de emissão médio estimado para fase de supraestrutura, considerando os cenários avaliados (Obras), com 95% de confiança equivale a 123,54 kgCO₂/m² construído. Considerando uma incerteza equivalente a 35,14%, estima-se que a média de emissão de CO₂, na fase de supraestrutura seja 123,54kgCO₂/m² ± 35,14% (Apêndice E), ou seja:

Tabela 51. Emissão média na fase de supraestrutura – kgCO₂/m²

EMISSIONES kgCO ₂ /m ² DE CONSTRUÇÃO		
MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
80,13	123,54	166,96

Do valor médio total estimado cerca de 97,25% são emissões representadas pelo consumo de serviço ou material de construção, 0,70% são emissões pelo consumo de energia elétrica e 2,05% pelo transporte ou fornecimento de serviços e materiais de construção, que equivale a 120,14kgCO₂/m², 0,86 kgCO₂/m² e 2,53 kgCO₂/m², respectivamente. Abaixo, demonstram-se as quantidades de CO₂ embutidas no fator de emissão médio calculado para a fase de supraestrutura, com base nos cenários avaliados:

Emissões de CO₂ embutidas no FE médio da fase supraestrutura

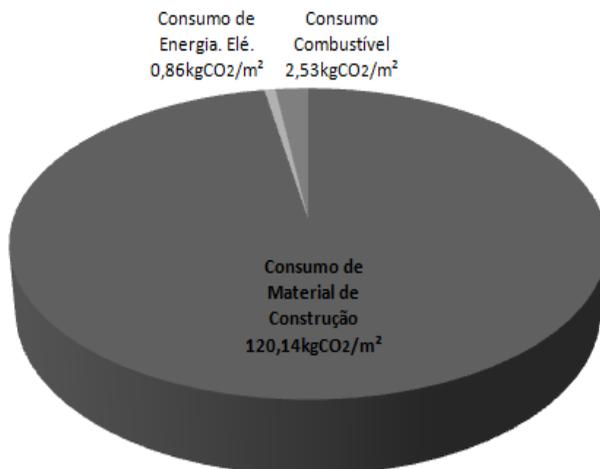


Figura 61. Emissões Embutidas no FE médio da fase de supraestrutura

Além da análise de linearidade realizada sobre os dados levantados in loco e bibliograficamente, outro método foi “testado” para a se estimar um valor médio de emissão por m² construído, na fase de

supraestrutura. O método consiste em combinar todas as possibilidades possíveis de fatores de emissão, obtidos em levantamentos bibliográficos, nessa pesquisa, para além de se determinar uma média, obter os valores dos extremos mínimos e máximos. Com 95% de confiança a média estimada equivale a 125,12 kgCO₂/m² construído, sendo o extremo mínimo igual a 92,36kgCO₂/m² e o extremo máximo igual a 157,18kgCO₂/m².

Posteriormente, foi aplicado um Teste de Hipótese de Comparação entre duas médias, neste caso, a média determinada pela análise de linearidade e a média obtida por *n* combinações de fatores de emissões. Com 95% de confiança aceitou-se a hipótese de igualdade entre médias.

Dessa forma, torna-se possível atribuir, de maneira genérica, classificações de cenários diante dos valores mínimos, médios e máximos de emissão por m² construído, conforme se sugere:

1º Cenário Inovador: 80,13kgCO₂/m² (Análise de Linearidade, resultado apresentado na Tabela 51), ou 92,36kgCO₂/m² (Combinação de Fatores de Emissão). Nesse cenário, sugere-se que há algum mecanismo inovador, seja pela utilização de materiais de construção, consumo de energia elétrica e/ou transporte de materiais de construção. Por exemplo, aplicação de determinado material de construção cuja matéria-prima tenha sido reciclada, utilização de máquinas e equipamentos elétricos com maior rendimento e menor consumo de energia elétrica, fornecimento de materiais de construção por veículos inteligentes a combustão e a energia elétrica;

2º Cenário Vigoroso: 123,54kgCO₂/m² (Análise de Linearidade, resultado apresentado na Tabela 51) ou 125,12kgCO₂/m² (Combinação de Fatores de Emissão). Esse cenário reflete a situação presente, onde há certo equilíbrio entre a aplicação de tecnologias e processos com magnitude de poluição ambiental alta;

3º Cenário Frágil: 157,18kgCO₂/m² (Combinação de Fatores de Emissão) ou 166,96 kgCO₂/m² (Análise de Linearidade, resultado apresentado na Tabela 51). Sugere-se um cenário com rara possibilidade de aplicação de tecnologias ambientalmente mais sustentáveis e processos de baixa eficiência.

As emissões pelo transporte ou fornecimento de serviços e materiais de construção, do ponto de origem (Fornecedor) ao ponto de destino (Obra) é a segunda emissão mais significativa, no âmbito geral do fator de emissão. Dessa forma, mensurou-se as emissões de CO₂, em kgCO₂ por km rodado (Tabela 52), a fim de se fornecer mais um

parâmetro de suporte a ações de redução de emissões de CO₂, na etapa da construção de edifícios.

Tabela 52. Emissões de CO₂ por quilômetro rodado na fase de supraestrutura

kgCO ₂ /km rodado							
OBRA							
Item	A	B	C	D	E	F	Média
Concreto	0,8068	0,8068	0,8068	0,8068	0,8068	0,8068	0,8068
Madeira - Fôrma	0,5916	0,5916	0,5916	0,8875	0,5916	0,5916	0,6409
Aço - Armadura	0,8875	1,7749	0,8875	0,8875	0,8875	0,8875	1,0354
Escora	0,5916	0,5916	0,5916	0,5916	0,5916	0,5916	0,5916
Tijolo de Laje/EPS	0,7196	0,9577	0,4788	0,6656	0,6656	0,6656	0,6922
Vigota T				0,6656		0,6656	0,6656
TOTAL	3,5971	4,7227	3,3564	4,5046	3,5432	4,2088	3,9888

Observa-se a repetição de valores como o item vigota T, escoras e madeira de fôrma, em decorrência de mesmo fornecedor de materiais as obras o ainda um mesmo fornecedor abastece a fase da obra com mais de um item.

5.2 Fase Alvenaria

A fase de alvenaria é similar no que se refere à determinação dos fatores de emissão, para a estimativa de um valor médio de emissão de CO₂ por m² de construção. Novamente, após a análise dos coeficientes de determinação de linearidade (Apêndice D), os seguintes fatores de emissão de CO₂ foram eleitos para o consumo de materiais e serviços de construção, no processo de contabilização de emissões da fase proposta:

- Bloco cerâmico (tijolo furado): 0,111 kgCO₂/kg (COSTA, 2012);
- Argamassa de assentamento: adaptado de Silva (2006), Marcos (2009), Lima (2010), Bath (2011) e Costa (2012). Destaca-se que as adaptações se referem a cimento, agregados miúdos e cimento+areia+cal, uma mistura erroneamente

denominada argamassa mista. Todos os procedimentos de conversão estão disponíveis no Apêndice B, tendo a Obra B como exemplo para verificação.

O fator de emissão de CO₂ relacionado ao consumo de energia elétrica:

- Energia elétrica: 0,5932 kgCO₂/kWh.

Já o fator de emissão de CO₂ pelo consumo de combustível:

- Diesel combustível (Emissão móvel direta): 2,6710 kgCO₂/l (GHG Protocol, 2012);
- Biodiesel (Emissão móvel direta): 2,4991 kgCO₂/l (GHG Protocol, 2012);
- Diesel combustível (Emissão estacionária direta): 2,6000 kgCO₂/l (GHG Protocol, 2012);
- Biodiesel (Emissão estacionária direta): 2,3000 kgCO₂/l (GHG Protocol, 2012).

Destaca-se que a relação linear entre número de blocos cerâmicos, conseqüentemente a emissão de CO₂ pelo consumo desse material de construção por área construída, do pavimento tipo, nos cenários avaliados, é fraca, pois ocorrem pavimentos tipo com grandes áreas construídas, porém com poucas divisórias em alvenaria, assim como, pavimentos tipo com áreas construídas menores, porém com grande número de divisórias em alvenaria. Seguem os resultados:

1º Obra A

Tabela 53. Emissões relacionadas ao tijolo furado por m² de construção - Obra A
Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de tijolo 11,5x19x19cm (kgCO ₂ /m ²)	12,1642
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0114
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,4070
TOTAL (kgCO₂/m²)	12,58

Tabela 54. Emissões relacionadas ao tijolo furado por m² de parede - Obra A
Fator de Emissão em 1m² de parede com base no FE de Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de tijolo 11,5x19x19cm (kgCO ₂ /m ²)	6,8479
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0064
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,2291
TOTAL (kgCO₂/m²)	7,08

Tabela 55. Emissões relacionadas à argamassa de assentamento por m² construído Obra A

Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Silva (2006) & Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de argamassa de assentamento (kgCO ₂ /m ²)	10,1725
Emissão pelo consumo de energia elétrica da betoneira (kgCO ₂ /m ²)	0,0307
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0057
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de cimento (kgCO ₂ /m ²)	0,0237
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia fina + cal (kgCO ₂ /m ²)	0,1317
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia grossa (kgCO ₂ /m ²)	0,0878
TOTAL (kgCO₂/m²)	10,45

Tabela 56. Emissões relacionadas à argamassa de assentamento por m² de parede Obra A

Fator de Emissão em 1m² de parede com base no FE de Silva (2006) & Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de argamassa de assentamento (kgCO ₂ /m ²)	5,7266
Emissão pelo consumo de energia elétrica da betoneira (kgCO ₂ /m ²)	0,0173
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0032
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de cimento (kgCO ₂ /m ²)	0,0133
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia fina + cal (kgCO ₂ /m ²)	0,0742
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia grossa (kgCO ₂ /m ²)	0,0494
TOTAL (kgCO₂/m²)	5,88

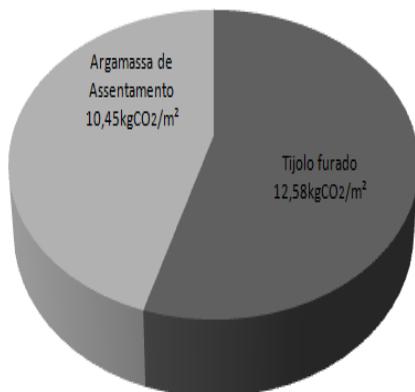
Tabela 57. Resumo de emissões de CO₂ na fase de alvenaria - Obra A

TOTAL (kgCO₂/m² construção)	23,03
----------------------------------------------------------	--------------

TOTAL (kgCO₂/m² parede)	12,97
------------------------------------------------------	--------------

A representação gráfica das emissões de CO₂, na fase de alvenaria da Obra A, em kgCO₂/m² construído e em porcentagem (%), demonstra-se abaixo:

Resumo de Emissões em kgCO₂/m² construído



Resumo de Emissões de CO₂ em %

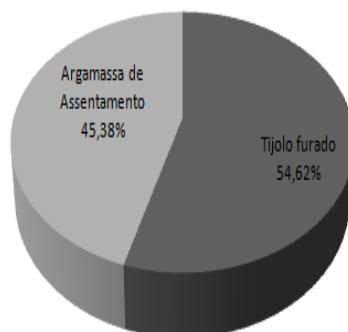


Figura 62. Resumo de emissões de CO₂ em kgCO₂/m² e % - Obra A

2º Obra B

Tabela 58. Emissões relacionadas ao tijolo furado por m² de construção - Obra B
Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de tijolo 11,5x19x19cm (kgCO ₂ /m ²)	7,0084
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0292
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,3493
TOTAL (kgCO₂/m²)	7,39

Tabela 59. Emissões relacionadas ao tijolo furado por m² de parede - Obra B
Fator de Emissão em 1m² de parede com base no FE de Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de tijolo 11,5x19x19cm (kgCO ₂ /m ²)	7,6410
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0319
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,3808
TOTAL (kgCO₂/m²)	8,05

Tabela 60. Emissões relacionadas à argamassa de assentamento por m² construído Obra B

Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Marcos (2009) e Lima (2010)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de argamassa de assentamento (kgCO ₂ /m ²)	1,8344
Emissão pelo consumo de energia elétrica da betoneira (kgCO ₂ /m ²)	0,0038
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0058
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de cimento (kgCO ₂ /m ²)	0,2833
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia média fina(kgCO ₂ /m ²)	0,0611
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia fina (kgCO ₂ /m ²)	0,0917
TOTAL (kgCO₂/m²)	2,28

Tabela 61. Emissões relacionadas à argamassa de assentamento por m² de parede Obra B

Fator de Emissão em 1m² de parede com base no FE de Marcos (2009) e Lima (2010)

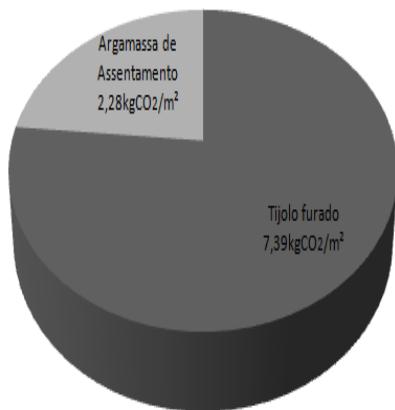
Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de argamassa de assentamento (kgCO ₂ /m ²)	2,0000
Emissão pelo consumo de energia elétrica da betoneira (kgCO ₂ /m ²)	0,0041
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0063
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de cimento (kgCO ₂ /m ²)	0,3089
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia média fina (kgCO ₂ /m ²)	0,0666
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia fina (kgCO ₂ /m ²)	0,1000
TOTAL (kgCO₂/m²)	2,49

Tabela 62. Resumo de emissões de CO₂ na fase de alvenaria - Obra B

TOTAL (kgCO₂/m² construção)	9,67
TOTAL (kgCO₂/m² parede)	10,54

A representação gráfica das emissões de CO₂, na fase de alvenaria da Obra B, em kgCO₂/m² construído e em porcentagem (%), demonstra-se na figura 63.

Resumo de Emissões em kgCO₂/m² construído



Resumo de Emissões de CO₂ em %

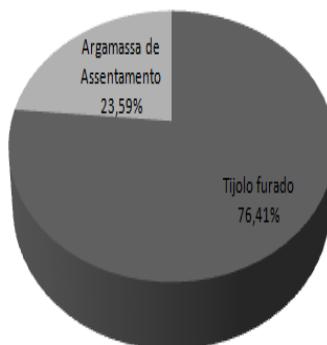


Figura 63. Resumo de emissões de CO₂ em kgCO₂/m² e % - Obra B

3º Obra C

Tabela 63. Emissões relacionadas ao tijolo furado por m² de construção - Obra C
Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de tijolo 11,5x19x19cm (kgCO ₂ /m ²)	11,4347
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0187
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	1,4895
TOTAL (kgCO₂/m²)	12,94

Tabela 64. Emissões relacionadas ao tijolo furado por m² de parede - Obra C
Fator de Emissão em 1m² de parede com base no FE de Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de tijolo 11,5x19x19cm (kgCO ₂ /m ²)	6,7955
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0111
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,8852
TOTAL (kgCO₂/m²)	7,69

Tabela 65. Emissões relacionadas à argamassa de assentamento estabilizada por m² construído - Obra C
Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Silva (2006) & Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de argamassa de assentamento (kgCO ₂ /m ²)	11,2227
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador (kgCO ₂ /m ²)	0,0178
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Basculante (kgCO ₂ /m ²)	1,4900
TOTAL (kgCO₂/m²)	12,73

Tabela 66. Emissões relacionadas à argamassa de assentamento estabilizada por m² de parede - Obra C
Fator de Emissão em 1m² de parede com base no FE de Silva (2006) & Costa (2012)

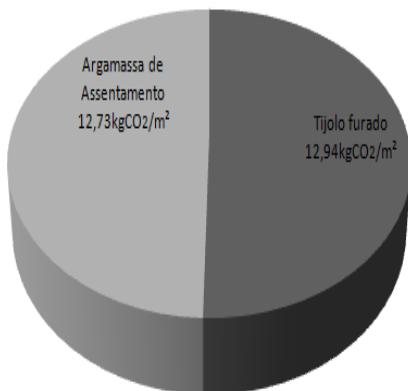
Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de argamassa de assentamento (kgCO ₂ /m ²)	6,6695
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador (kgCO ₂ /m ²)	0,0106
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Basculante (kgCO ₂ /m ²)	0,8851
TOTAL (kgCO₂/m²)	7,57

Tabela 67. Resumo de emissões de CO₂ na fase de alvenaria - Obra C

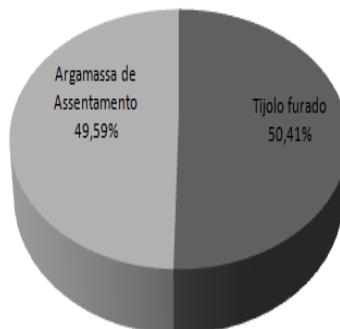
TOTAL (kgCO₂/m² construção)	25,67
TOTAL (kgCO₂/m² parede)	15,26

A representação gráfica das emissões de CO₂, na fase de alvenaria da Obra C, em kgCO₂/m² construído e em porcentagem (%), demonstra-se na Figura 64, a seguir.

Resumo de Emissões em kgCO₂/m² construído



Resumo de Emissões de CO₂ em %

Figura 64. Resumo de emissões de CO₂ em kgCO₂/m² e % - Obra C

4º Obra D

Tabela 68. Emissões relacionadas ao tijolo furado por m² de construção - Obra D
Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de tijolo 11,5x19x19cm (kgCO ₂ /m ²)	15,2619
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0494
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,6630
TOTAL (kgCO₂/m²)	15,97

Tabela 69. Emissões relacionadas ao tijolo furado por m² de parede - Obra D
Fator de Emissão em 1m² de parede com base no FE de Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de tijolo 11,5x19x19cm (kgCO ₂ /m ²)	7,7423
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0250
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,3361
TOTAL (kgCO₂/m²)	8,10

Tabela 70. Emissões relacionadas à argamassa de assentamento por m² construído Obra D

Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Marcos (2009) e Lima (2010)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de argamassa de assentamento (kgCO ₂ /m ²)	2,6720
Emissão pelo consumo de energia elétrica da betoneira (kgCO ₂ /m ²)	0,0055
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0123
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de cimento (kgCO ₂ /m ²)	0,0201
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia média(kgCO ₂ /m ²)	0,0343
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia grossa (kgCO ₂ /m ²)	0,0171
TOTAL (kgCO₂/m²)	2,76

Tabela 71. Emissões relacionadas à argamassa de assentamento por m² de parede Obra D

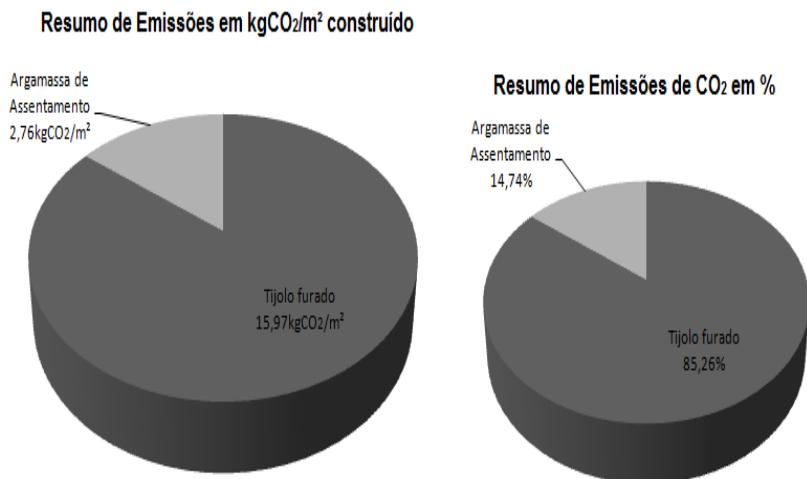
Fator de Emissão em 1m² de parede com base no FE de Marcos (2009) e Lima (2010)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de argamassa de assentamento (kgCO ₂ /m ²)	1,3546
Emissão pelo consumo de energia elétrica da betoneira (kgCO ₂ /m ²)	0,0028
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0062
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de cimento (kgCO ₂ /m ²)	0,0102
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia média(kgCO ₂ /m ²)	0,0174
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia grossa (kgCO ₂ /m ²)	0,0087
TOTAL (kgCO₂/m²)	1,40

Tabela 72. Resumo de emissões de CO₂ na fase de alvenaria - Obra D

TOTAL (kgCO ₂ /m ² construção)	18,74
TOTAL (kgCO ₂ /m ² parede)	9,50

A representação gráfica das emissões de CO₂, na fase de alvenaria da Obra D, em kgCO₂/m² construído e em porcentagem (%), demonstra-se abaixo:

Figura 65. Resumo de emissões de CO₂ em kgCO₂/m² e % - Obra D

5º Obra E

Tabela 73. Emissões relacionadas ao tijolo furado por m² de construção - Obra E
Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de tijolo 11,5x19x19cm (kgCO ₂ /m ²)	13,7487
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0195
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	1,7011
TOTAL (kgCO₂/m²)	15,47

Tabela 74. Emissões relacionadas ao tijolo furado por m² de parede - Obra E
Fator de Emissão em 1m² de parede com base no FE de Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de tijolo 11,5x19x19cm (kgCO ₂ /m ²)	7,5533
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0107
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,9346
TOTAL (kgCO₂/m²)	8,50

Tabela 75. Emissões relacionadas à argamassa de assentamento por m² construído Obra E
Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Silva (2006) & Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de argamassa de assentamento (kgCO ₂ /m ²)	4,6016
Emissão pelo consumo de energia elétrica da betoneira (kgCO ₂ /m ²)	0,0265
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0056
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de cimento (kgCO ₂ /m ²)	0,0732
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia fina + cal (kgCO ₂ /m ²)	0,1159
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia grossa (kgCO ₂ /m ²)	0,0487
TOTAL (kgCO₂/m²)	4,87

Tabela 76. Emissões relacionadas à argamassa de assentamento por m² de parede Obra E

Fator de Emissão em 1m² de parede com base no FE de Silva (2006) & Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de argamassa de assentamento (kgCO ₂ /m ²)	2,5280
Emissão pelo consumo de energia elétrica da betoneira (kgCO ₂ /m ²)	0,0145
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0031
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de cimento (kgCO ₂ /m ²)	0,0402
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia fina + cal (kgCO ₂ /m ²)	0,0637
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia grossa (kgCO ₂ /m ²)	0,0267
TOTAL (kgCO₂/m²)	2,68

Tabela 77. Resumo de emissões de CO₂ na fase de alvenaria - Obra E

TOTAL (kgCO₂/m² construção)	20,34
TOTAL (kgCO₂/m² parede)	11,17

A representação gráfica das emissões de CO₂, na fase de alvenaria da Obra E, em kgCO₂/m² construído e em porcentagem (%), demonstra-se na Figura 66, a seguir.

Resumo de Emissões em kgCO₂/m² construído



Resumo de Emissões de CO₂ em %

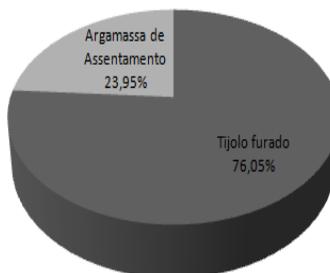


Figura 66. Resumo de emissões de CO₂ em kgCO₂/m² e % - Obra E

6º Obra F

Tabela 78. Emissões relacionadas ao tijolo furado por m² de construção - Obra F
Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de tijolo 11,5x19x19cm (kgCO ₂ /m ²)	12,7418
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0528
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,6076
TOTAL (kgCO₂/m²)	13,40

Tabela 79. Emissões relacionadas ao tijolo furado por m² de parede - Obra F
Fator de Emissão em 1m² de parede com base no FE de Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de tijolo 11,5x19x19cm (kgCO ₂ /m ²)	7,7420
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0321
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Transportador (kgCO ₂ /m ²)	0,3692
TOTAL (kgCO₂/m²)	8,14

Tabela 80. Emissões relacionadas à argamassa de assentamento por m² construído Obra F

Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Silva (2006) & Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de argamassa de assentamento (kgCO ₂ /m ²)	5,4687
Emissão pelo consumo de energia elétrica da betoneira (kgCO ₂ /m ²)	0,0302
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0157
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de cimento (kgCO ₂ /m ²)	0,6571
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia fina + cal (kgCO ₂ /m ²)	0,0075
TOTAL (kgCO₂/m²)	6,18

Tabela 81. Emissões relacionadas à argamassa de assentamento por m² de parede Obra F

Fator de Emissão em 1m² de parede com base no FE de Silva (2006) & Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de argamassa de assentamento (kgCO ₂ /m ²)	3,3228
Emissão pelo consumo de energia elétrica da betoneira (kgCO ₂ /m ²)	0,0183
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0095
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de cimento (kgCO ₂ /m ²)	0,3989
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia fina + cal (kgCO ₂ /m ²)	0,0046
TOTAL (kgCO₂/m²)	3,75

Tabela 82. Resumo de emissões de CO₂ na fase de alvenaria - Obra F

TOTAL (kgCO₂/m² construção)	19,58
TOTAL (kgCO₂/m² parede)	11,90

A representação gráfica das emissões de CO₂, na fase de alvenaria da Obra F, em kgCO₂/m² construído e em porcentagem (%), demonstra-se na Figura 67, a seguir.

Resumo de Emissões em kgCO₂/m² construído



Resumo de Emissões de CO₂ em %

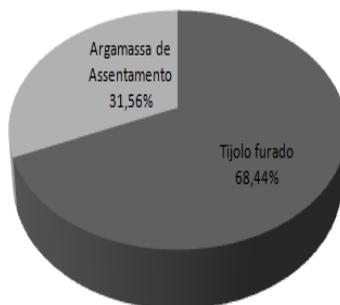


Figura 67. Resumo de emissões de CO₂ em kgCO₂/m² e % - Obra F

O fator de emissão médio estimado para fase de alvenaria, considerando os cenários avaliados (Obras), com 95% de confiança equivale a 19,51 kgCO₂/m² construído. Considerando uma incerteza equivalente a 15,72% (Apêndice E), estima-se que a média de emissão de CO₂, na fase de alvenaria seja 19,51 kgCO₂/m² ± 15,72%, ou seja, as emissões de CO₂ para a fase de alvenaria assume valores mínimo equivalente a 16,44 kgCO₂/m² e máximo igual a 22,57 kgCO₂/m², conforme se observa na Tabela 83 a seguir.

Tabela 83. Emissão média na fase de alvenaria– kgCO₂/m²

EMISSIONES kgCO₂/m² DE CONSTRUÇÃO		
MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
16,44	19,51	22,57

Do valor médio total estimado cerca de 92,09% são emissões representadas pelo consumo de serviço ou material de construção, 0,37% são emissões pelo consumo de energia elétrica e 7,59% pelo transporte ou fornecimento de serviços e materiais de construção, que equivale a 17,96kgCO₂/m², 0,07kgCO₂/m² e 1,47kgCO₂/m², respectivamente. Na Figura 68, demonstram-se as quantidades de CO₂ embutidas no fator de emissão médio calculado para a fase de alvenaria, com base nos cenários avaliados:

Emissões de CO₂ embutidas no FE médio da fase alvenaria

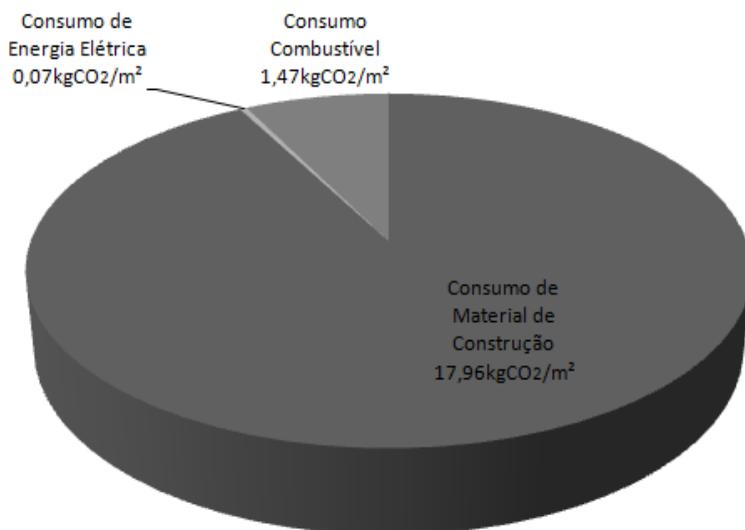


Figura 68. Emissões Embutidas no FE médio da fase de alvenaria

Com relação às emissões de CO₂ por km rodado, apresenta-se o seguinte resultado, para a fase de alvenaria:

Tabela 84. Emissões de CO₂ por quilômetro rodado na fase de alvenaria

kgCO ₂ /km rodado							
OBRA							
Item	A	B	C	D	E	F	Média
Tijolo furado	0,7195	0,6656	0,8588	0,6656	0,6656	0,6656	0,7150
Argamassa Assentamento-Cimento	0,8875	0,8875	0,9861	0,8875	0,8875	0,8875	0,9039
Arg. Assentamento - Agregado miúdo 1 ^a	0,6656	0,6656		0,6656	0,6656	0,6656	0,7190
Arg. Assentamento - Agregado miúdo 2 ^b	0,6656	0,6656		0,6656	0,6656	-	0,7297
TOTAL	2,9382	2,8843	1,8449	2,8843	2,8843	2,2187	2,6091

^aAreia + Cal; ^b Areias em geral (areia fina, areia média fina, areia média grossa).

5.3 Fase de Revestimento Interno (Reboco)

A fase de revestimento interno consiste basicamente na medição de dados de atividade referente a aplicação de reboco na parede de alvenaria convencional. Os seguintes fatores de emissão de CO₂ foram eleitos para o consumo de materiais e serviços de construção, no processo de contabilização de emissões da fase proposta:

- Argamassa de assentamento: adaptado de Silva (2006), Marcos (2009), Lima (2010), Bath (2011) e Costa (2012). Destaca-se que as adaptações se referem a cimento, agregados miúdos e cimento+areia+cal, uma mistura erroneamente denominada argamassa mista. Todos os procedimentos de conversão estão disponíveis no Apêndice C, tendo como exemplo a Obra B, para verificação.

O fator de emissão de CO₂ relacionado ao consumo de energia elétrica:

- Energia elétrica: 0,5932 kgCO₂/kWh.

Fator de emissão de CO₂ pelo consumo de combustível:

- Diesel combustível (Emissão móvel direta): 2,6710 kgCO₂/l (GHG Protocol, 2012);
- Biodiesel (Emissão móvel direta): 2,4991 kgCO₂/l (GHG Protocol, 2012);
- Diesel combustível (Emissão estacionária direta): 2,6000 kgCO₂/l (GHG Protocol, 2012);
- Biodiesel (Emissão estacionária direta): 2,3000 kgCO₂/l (GHG Protocol, 2012).

De maneira similar a questão da relação linear entre área de parede interna e área construída dos pavimentos tipo, citada anteriormente no item “Alvenaria”, na fase de revestimento interno ocorre o mesmo efeito, ou seja, o coeficiente de linearidade, o R², é baixo.

O resultado das emissões de CO₂, nos cenários avaliados, é apresentado a seguir.

1º Obra A

Tabela 85. Emissões relacionadas à argamassa de revestimento interno (reboco) por m² de construção - Obra A

Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de argamassa de revestimento "Reboco" (kgCO ₂ /m ²)	18,6207
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0059
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Basculante (kgCO ₂ /m ²)	0,1526
TOTAL (kgCO₂/m²)	18,78

Tabela 86. Emissões relacionadas à argamassa de revestimento interno (reboco) por m² de parede - Obra A

Fator de Emissão em 1m² de parede com base no FE de Silva (2006) & Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de argamassa de revestimento "Reboco" (kgCO ₂ /m ²)	10,4826
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0033
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão Basculante (kgCO ₂ /m ²)	0,0859
TOTAL (kgCO₂/m²)	10,57

2º Obra B

Tabela 87. Emissões relacionadas à argamassa de revestimento interno (reboco) por m² de construção - Obra B

Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Marcos (2009) e Lima (2010)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de argamassa de revestimento "Reboco" (kgCO ₂ /m ²)	4,5134
Emissão pelo consumo de energia elétrica da betoneira (kgCO ₂ /m ²)	0,0075
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0147
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de cimento (kgCO ₂ /m ²)	0,2833
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia média fina(kgCO ₂ /m ²)	0,0611
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia fina (kgCO ₂ /m ²)	0,0917
TOTAL (kgCO₂/m²)	4,97

Tabela 88. Emissões relacionadas à argamassa de revestimento interno (reboco) por m² de parede - Obra B

Fator de Emissão em 1m² de parede com base no FE de Marcos (2009) e Lima (2010)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de argamassa de assentamento (kgCO ₂ /m ²)	4,9208
Emissão pelo consumo de energia elétrica da betoneira (kgCO ₂ /m ²)	0,0082
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0160
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de cimento (kgCO ₂ /m ²)	0,3089
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia fina + cal (kgCO ₂ /m ²)	0,0666
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia grossa (kgCO ₂ /m ²)	0,1000
TOTAL (kgCO₂/m²)	5,42

3º Obra C

Tabela 89. Emissões relacionadas à argamassa de revestimento interno (reboco)
por m² de construção - Obra C

Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Silva (2006) & Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de argamassa de revestimento "Reboco" (kgCO ₂ /m ²)	27,4403
Emissão pelo consumo de energia elétrica da betoneira (kgCO ₂ /m ²)	0,0555
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0229
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de cimento (kgCO ₂ /m ²)	0,3624
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia fina + cal (kgCO ₂ /m ²)	0,3128
Emissão pelo consumo de energia elétrica do projetora (kgCO ₂ /m ²)	0,1232
TOTAL (kgCO₂/m²)	28,32

Tabela 90. Emissões relacionadas à argamassa de revestimento interno (reboco)
por m² de parede - Obra C

Fator de Emissão em 1m² de parede com base no FE de Silva (2006) & Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de argamassa de assentamento (kgCO ₂ /m ²)	16,3073
Emissão pelo consumo de energia elétrica da betoneira (kgCO ₂ /m ²)	0,0330
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0136
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de cimento (kgCO ₂ /m ²)	0,2154
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia fina + cal (kgCO ₂ /m ²)	0,1859
Emissão pelo consumo de energia elétrica do projetora (kgCO ₂ /m ²)	0,0732
TOTAL (kgCO₂/m²)	16,83

4º Obra D

Tabela 91. Emissões relacionadas à argamassa de revestimento interno (reboco) por m² de construção - Obra D

Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Marcos (2009) e Lima (2010)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de argamassa de revestimento "Reboco" (kgCO ₂ /m ²)	11,9976
Emissão pelo consumo de energia elétrica da betoneira (kgCO ₂ /m ²)	0,021
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0467
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de cimento (kgCO ₂ /m ²)	0,0201
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia média fina (kgCO ₂ /m ²)	0,1542
TOTAL (kgCO₂/m²)	12,24

Tabela 92. Emissões relacionadas à argamassa de revestimento interno (reboco) por m² de parede - Obra D

Fator de Emissão em 1m² de parede com base no FE de Marcos (2009) e Lima (2010)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de argamassa de revestimento "Reboco" (kgCO ₂ /m ²)	6,0823
Emissão pelo consumo de energia elétrica da betoneira (kgCO ₂ /m ²)	0,0107
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0237
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de cimento (kgCO ₂ /m ²)	0,0102
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia média fina (kgCO ₂ /m ²)	0,0782
TOTAL (kgCO₂/m²)	6,21

5º Obra E

Tabela 93. Emissões relacionadas à argamassa de revestimento interno (reboco) por m² de construção - Obra E

Fator de Emissão em 1m² de construção com base no FE de Silva (2006) & Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de argamassa de revestimento "Reboco" (kgCO ₂ /m ²)	21,5730
Emissão pelo consumo de energia elétrica da betoneira (kgCO ₂ /m ²)	0,0334
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0142
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de cimento (kgCO ₂ /m ²)	0,0732
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia fina + cal (kgCO ₂ /m ²)	0,2897
TOTAL (kgCO₂/m²)	21,98

Tabela 94. Emissões relacionadas à argamassa de revestimento interno (reboco) por m² de parede - Obra E

Fator de Emissão em 1m² de parede com base no FE de Silva (2006) & Costa (2012)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de argamassa de assentamento (kgCO ₂ /m ²)	11,8519
Emissão pelo consumo de energia elétrica da betoneira (kgCO ₂ /m ²)	0,0184
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0078
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de cimento (kgCO ₂ /m ²)	0,0402
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia fina + cal (kgCO ₂ /m ²)	0,1592
TOTAL (kgCO₂/m²)	12,08

6º Obra F

Tabela 95. Emissões relacionadas à argamassa de revestimento interno (reboco)
por m² de construção - Obra E

Fator de Emissão em 1m² de parede com base no FE de Marcos (2009) e Lima (2010)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de argamassa de revestimento "Reboco" (kgCO ₂ /m ²)	9,7831
Emissão pelo consumo de energia elétrica da betoneira (kgCO ₂ /m ²)	0,0868
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0446
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de cimento (kgCO ₂ /m ²)	0,6571
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia média fina (kgCO ₂ /m ²)	0,0594
TOTAL (kgCO₂/m²)	10,63

Tabela 96. Emissões relacionadas à argamassa de revestimento interno (reboco)
por m² de parede - Obra F

Fator de Emissão em 1m² de parede com base no FE de Marcos (2009) e Lima (2010)

Identificação	Valor
Emissão pelo consumo de argamassa de revestimento "Reboco" (kgCO ₂ /m ²)	5,9443
Emissão pelo consumo de energia elétrica da betoneira (kgCO ₂ /m ²)	0,0527
Emissão pelo consumo de energia elétrica do elevador de cargas (kgCO ₂ /m ²)	0,0271
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de cimento (kgCO ₂ /m ²)	0,3993
Emissão pelo consumo de combustível do Caminhão fornecedor de areia média fina (kgCO ₂ /m ²)	0,0361
TOTAL (kgCO₂/m²)	6,46

O fator de emissão médio estimado para fase de revestimento interno (reboco de parede), considerando os cenários avaliados (Obras), com 95% de confiança equivale a 16,15 kgCO₂/m² construído.

Considerando uma incerteza equivalente a 11,52% (Apêndice E), estima-se que a média de emissão de CO₂, para a fase seja 16,15 kgCO₂/m² ± 11,52%, ou seja:

Tabela 97. Emissão média na fase de revestimento interno (Reboco) – kgCO₂/m²

EMISSÕES kgCO₂/m² DE CONSTRUÇÃO		
MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
14,29	16,15	18,02

Do valor médio total estimado cerca de 95,84% são emissões representadas pelo consumo de serviço ou material de construção, 0,43% são emissões pelo consumo de energia elétrica e 3,11% pelo transporte ou fornecimento de serviços e materiais de construção, que equivale a 15,48kgCO₂/m², 0,07kgCO₂/m² e 0,60kgCO₂/m², respectivamente.

Na Figura 69, demonstram-se as quantidades de CO₂ embutidas no fator de emissão médio calculado para a fase de revestimento interno, com base nos cenários avaliados:

Emissões de CO₂ embutidas no FE médio da fase de revestimento interno (Reboco de parede)

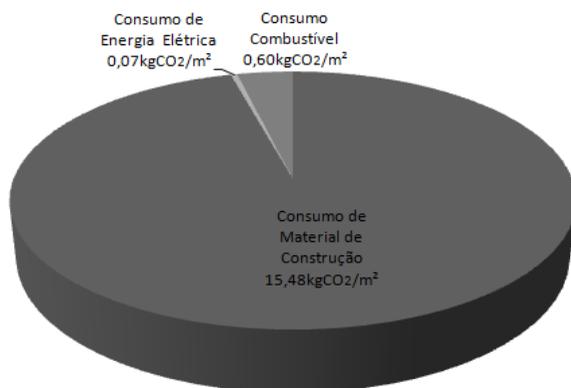


Figura 69. Emissões Embutidas no FE médio da fase de revestimento interno (Reboco)

Com relação às emissões de CO₂ por km rodado, apresenta-se o seguinte resultado, para a fase de alvenaria:

Tabela 98. Emissões de CO₂ por quilômetro rodado na fase de revestimento interno (Reboco de parede)

kgCO ₂ /km rodado							
OBRA							
Item	A	B	C	D	E	F	Média
Arg. Rev. - Cimento	0,9861	0,8875	0,8875	0,8875	0,8875	0,8875	0,8875
Arg. Rev. - Agregado miúdo 1 ^a		-	0,6656	-	0,6656	-	0,6656
Arg. Rev. - Agregado miúdo 2 ^b		0,6656	-	0,6656	-	0,6656	0,6656
TOTAL	0,9861	1,5531	1,5531	1,5531	1,5531	1,5531	1,4586

Areia + Cal; ^b Areias em geral (areia fina, areia média fina, areia média grossa).

A frequência de valores idênticos de emissão de CO₂ por km rodado ocorre, principalmente devido a fornecedores de materiais de construção em comum, entre as obras avaliadas.

5.4 Contabilização Geral de Emissões de CO₂

Nessa etapa, desenvolve-se a compilação das emissões de CO₂ por m² construído, das fases de supraestrutura, alvenaria e revestimento interno (Reboco de parede). Posteriormente, apresenta-se a estimativa de emissões totais por obra avaliada. Segue abaixo tabela de balanço de emissões:

Tabela 99. Balanço Geral de Emissões na Etapa da Construção

BALANÇO GERAL DE EMISSÕES DE CO ₂ NA ETAPA DA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS							
OBRA	FASES DA OBRA (kgCO ₂ /m ² construído)			PAVIMENTO TIPO		EMISSÕES de CO ₂	
	Supraestrutura	Alvenaria	Reboco	Área Pavto Tipo (m ²)	Nº Pavtos Tipo	Σ Fases em kgCO ₂ /m ² /Pavto Tipo	Total Emitido na Obra (tCO ₂)
A	165,48	23,03	18,78	636,48	11	207,29	1.451,30
B	91,03	9,67	4,97	914,7	11	105,67	1.063,22
C	136,85	25,67	28,32	715,00	12	190,84	1.637,39
D	108,97	18,74	12,24	839,30	14	139,94	1.644,36
E	130,82	20,34	21,98	574,39	10	173,15	994,55
F	108,11	19,58	10,63	394,35	12	138,33	654,58
Média	123,54	19,51	16,15	679,04	11,67	159,20	1.240,90

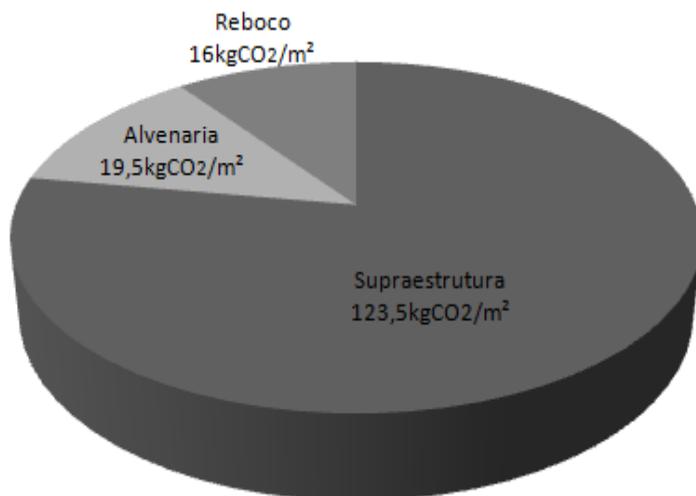


Figura 70. Emissões Médias das fases de supraestrutura, alvenaria e reboco.

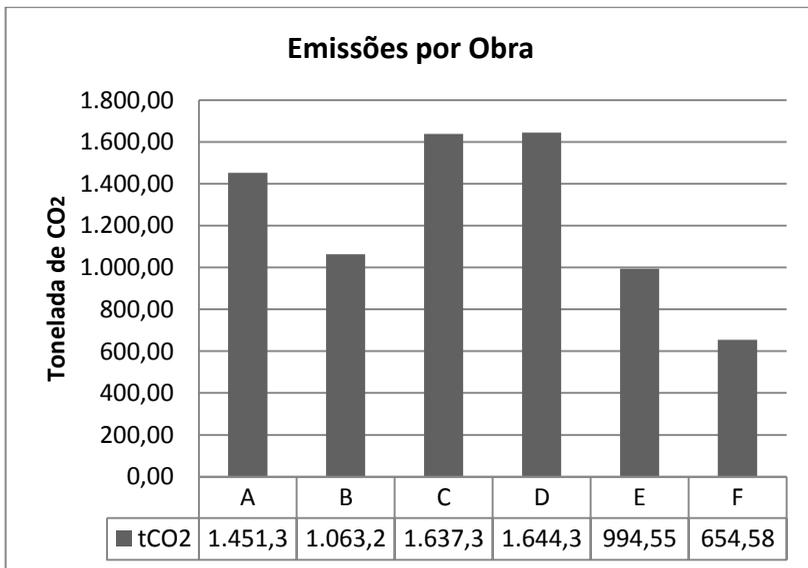


Figura 71. Gráfico de emissões por obra da Região da Grande Florianópolis – SC.

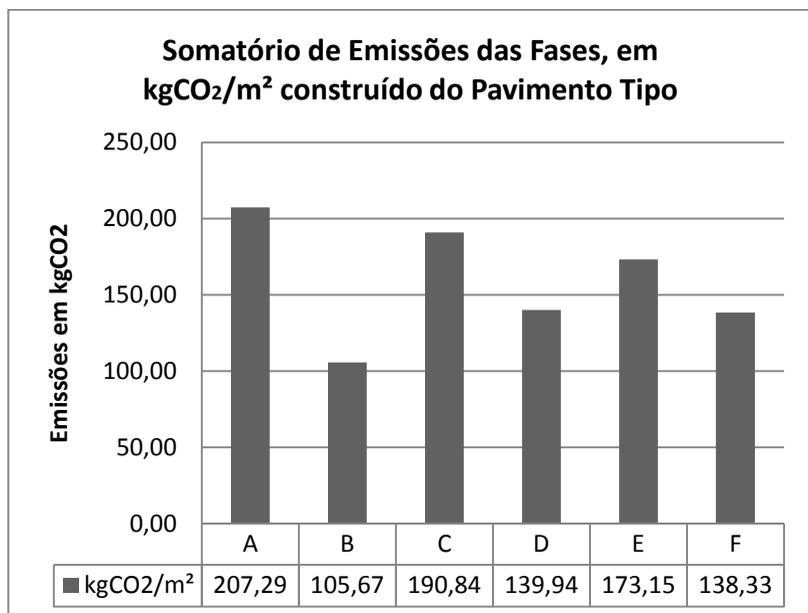


Figura 72. Gráfico de emissões médias por pavimento tipo de obras da Região da Grande Florianópolis – SC.

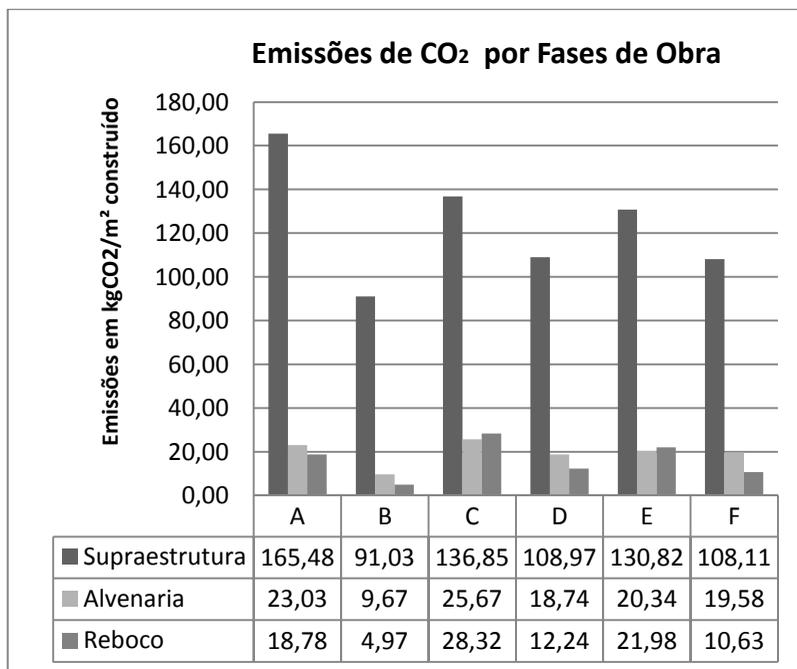


Figura 73. Gráfico de emissões médias por fases de supraestrutura, alvenaria e revestimento interno (Reboco de parede), pertencentes a obras da Região da Grande Florianópolis – SC.

De maneira geral, os cenários avaliados apresentam características similares quanto aos tipos de materiais e serviços de construção civil, além de equipamentos e máquinas para transformação de componentes, acondicionamento, medição de volume. Ocorre também uma similaridade com relação aos meios de deslocamento do material de construção, tanto horizontal quanto vertical, no que se refere à logística interna de canteiro de obras. Além disso, observa-se que em todas as fases avaliadas ocorrem fornecedores de serviços e materiais de construção em comum as obras.

A etapa de coleta de dados de atividade apresentou limitações distintas, perante as fases investigadas.

Na fase de supraestrutura parece haver um maior controle de informações, tanto da parte de fornecedores, principalmente de concreto, aço e madeira de fôrma, quanto na própria gestão de obra. A utilização de listas de verificação para garantia da qualidade do concreto somada as estimativas de volume do material, preconizadas nos projetos

estruturais, proporcionam qualidade ao dado coletado, na fase específica.

Ainda, com relação a registros na fase de supraestrutura, poucos projetos estruturais forneceram informações completas sobre consumo de aço, madeira de fôrma, volume de concreto estimado nos elementos estruturais, ou até mesmo valores médios de consumo por pavimento tipo.

O fornecimento de valores médios de consumo de materiais de construção como aço, madeira e concreto por pavimento tipo facilitaria a elaboração de inventários de emissões de CO₂, na etapa da construção. Torna-se importante destacar que à medida que os pavimentos vão aumentando, há uma tendência na diminuição das quantidades de aço e madeira de fôrma.

Os registros realizados em diários de obra são muito importantes à gestão da fase e para a qualidade dos dados de atividade de um inventário, principalmente por apresentarem informações bastante detalhadas. Praticamente duas obras avaliadas possuíam documentos dessa natureza.

Quanto às escoras utilizadas nas obras, os fornecedores das escoras metálicas estão a distâncias muito superiores dos fornecedores de escoras de madeira, o que significa uma emissão quase 25 vezes maior por transporte. Com relação à emissão pelo consumo do material, por m² construído, observa-se que a escora metálica é duas vezes maior que de escoras de madeira. Porém, o número de n utilizações das escoras de aço é considerado alto, se comparada às escoras de madeira cujo número de reaproveitamento está na ordem de n=2 a n=18.

Na fase de alvenaria foi necessária a introdução de métodos estatísticos para estimativa de quantidade de blocos cerâmicos (tijolo furado) e argamassa de assentamento, por metro quadrado de parede. Para a elaboração da amostra n=10 parede, percorreu-se todos os edifícios, onde a escolha da parede foi aleatória. Observou-se um número mínimo de 23 blocos por metro quadrado de parede e máximo de 30 blocos.

A contabilização de blocos, em um metro quadrado de parede, além de fornecer o consumo de tijolos por área, indiretamente fornece a quantidade de argamassa aplicada. Constatou-se que paredes cuja área de apresentaram maior número de blocos houve menor consumo de argamassa de assentamento. O consumo da argamassa de assentamento, no pavimento tipo, está relacionado principalmente à qualidade da mão-de-obra e indiretamente a qualidade dos blocos cerâmicos, onde é comum ter partes danificadas preenchidas por argamassa.

Em todas as obras há recomendação de se reintroduzir a massa desperdiçada ao recipiente de acondicionamento das argamassas, logo após a ação de desperdício. Portanto, considerou-se perda zero de argamassa de assentamento, bem como de revestimento. Geralmente, são utilizadas lonas plásticas e painéis compensados próximos às paredes, para contenção de volumes de massa desperdiçada.

No desenvolvimento de cálculos de emissões das argamassas de assentamento, observou-se que na presença do componente Areia fina + Cal, fornecidas as obras já misturadas, apresentaram uma emissão por área maior do que as demais situações, como por exemplo, a de argamassas compostas por cimento, areia fina e areia média grossa. Interpreta-se esse fenômeno devido à presença do cal.

Nas fases de alvenaria e reboco não foi possível identificar, perante a amostra n=6 obras, o impacto das argamassas estabilizadas sobre as viradas em obra, no âmbito das emissões. Constatou-se, porém, que na Obra C, onde foi utilizada máquina projetora de argamassa de revestimento uma adição de emissões de CO₂, pelo consumo de energia elétrica. Entretanto, segundo informações do setor de engenharia da obra o ganho em produtividade é expressivo frente ao método de aplicação com colher de pedreiro.

As emissões relacionadas ao consumo de energia elétrica, em todos os cenários avaliados, foram similares, devido ao mesmo fator de emissão e características de equipamentos e máquinas elétricas. Os motores, na grande maioria, apresentam elevados rendimentos, que significa melhor aproveitamento da energia consumida para geração de trabalho. Conforme descrito em capítulos anteriores desse trabalho de pesquisa, em todas as obras os meios de deslocamento vertical de matérias e serviços de construção foram por elevadores de carga e guincho de coluna. Não foi possível, dessa forma, estimar qual o impacto sobre as emissões de CO₂ pela utilização de guias, para a realização das mesmas atividades.

As emissões relacionadas ao fornecimento de serviços e materiais de construção ou simplesmente por transporte são similares se analisadas por material ou serviço fornecido. As usinas de concreto tendem a se instalarem próximas a regiões com elevado volume de obras. Na Região da Grande Florianópolis, praticamente todas possuem usinas no município de Florianópolis e, na parte continental, no eixo composto pelos municípios Palhoça- São José – Biguaçu. Assim, quanto maior a proximidade das usinas as obras, menor será a emissão pelo transporte do serviço de concretagem. A lógica se aplica a todos os outros fornecedores de materiais de construção, no entanto, é mais

difícil distribuir os centros de fornecimento de aço, madeira, blocos cerâmicos, entre outros, com base na distribuição geográfica de obras.

Em todos os cenários avaliados foram identificados somente emissões pertencentes aos escopos 2 e 3, conforme classificação da metodologia disponibilizada pelo programa brasileiro GHG Protocol.

As maiores emissões de CO₂ por área foi na fase de supraestrutura, seguido de alvenaria e revestimento interno, essas duas últimas muito próximas. Os valores médios estimados por fase foram 123,54kgCO₂/m² construído na fase de supraestrutura, 19,51kgCO₂/m² construído na fase de alvenaria e 16,15kgCO₂/m² construído na fase de revestimento interno (Reboco de parede).

Na fase de supraestrutura o consumo de concreto representa a maior contribuição de emissões de CO₂, seguido de aço de escora metálica e de armadura, madeira de fôrma, tijolo de laje e EPS. Torna-se necessário destacar que na literatura não há registros sobre um fator de emissão específico para escoras, seja ela metálica ou de madeira. Nesse caso, as conversões se baseiam em fatores de emissão do aço e da madeira, respectivamente. Essas particularidades foram rigorosamente consideradas na determinação de incertezas, tendo em vista cenários conservadores de emissões. Já para tijolo de laje e EPS a análise identifica uma baixa precisão.

Perante o tratamento dos dados de atividade, levantados *in loco* e na literatura, constatou-se uma maior tendência de linearidade do concreto, seguido de madeira de fôrma e aço (Apêndice D).

Na fase de alvenaria há cenários de equilíbrio das emissões oriundas do consumo de blocos cerâmicos (tijolo furado) e da argamassa de assentamento, enquanto que em outros ocorre um domínio maior do tijolo, esse nunca inferior a argamassa de assentamento, nos cenários avaliados. Durante a etapa de coleta de dados de atividades não foi possível coletar informações das atividades de encunhamento, que pertence à fase de alvenaria.

Quanto à análise de linearidade das variáveis denominadas consumo de blocos cerâmicos e área construída, há certa dificuldade na interpretação da correlação. Sugere-se que as especificidades dos projetos arquitetônicos seja a causa desse fenômeno, no que tange a densidade de paredes e compacidade. Existem obras com pavimentos tipo de grande área construída, mas com poucas divisórias (paredes) em alvenaria. São obras de ambientes amplos interligados e com pouco corredor. Ao contrário, observou-se que pavimentos tipo de menor área, porém ricos em detalhes, acabamentos e divisórias em alvenaria. Esses cenários refletem também nas correlações das argamassas.

A fase de revestimento interno (reboco de parede) é representada pelo próprio consumo de argamassa de revestimento. Estimativas sobre a contribuição das emissões por área, dos componentes cimento e agregados miúdos, nesse cenário de n=6 obras, são pouco precisas. Além da variação nos traços da argamassa de reboco pré-determinados pelas construtoras, ocorre variação granulométrica dos agregados miúdos na mistura e possibilidade de misturas com o aglomerante cal.

5.5 Neutralização de Emissões de CO₂

Nesse tópico, com base na metodologia de Azevedo e Quintino (2010), apresentam-se os seguintes cenários de neutralização de CO₂ emitido:

Tabela 100. Cenários de neutralização

REFERÊNCIA DE NEUTRALIZAÇÃO E GERAÇÃO DE CRÉDITO DE CARBONO (CONDIÇÃO: 1tCO₂ = 1 CRÉDITO DE CARBONO)							
Cenários Avaliados		Árvores Nativas					
OBRA	Emissão/Obra (tCO ₂)	Quantidade (un.)	Área de Plantio (ha)	Qtidade/m ² construído	Qtidade - fixar 1tCO ₂ ^a	Qtidade Crédito/m ² construído	Padrão ^b /m ²
A	1.451,30	9.675,33	3,87	1,38	5,56	6,94	7,0
B	1.063,22	7.088,11	2,84	0,70	5,56	6,26	7,0
C	1.637,39	10.915,96	4,37	1,27	5,56	6,83	7,0
D	1.644,36	10.962,39	4,38	0,93	5,56	6,49	7,0
E	994,55	6.630,34	2,65	1,15	5,56	6,71	7,0
F	654,58	4.363,89	1,75	0,92	5,56	6,48	7,0
Média	1.240,90	8.272,67	3,31	1,06	5,56	6,62	7,0

^a Condição onde 1tCO₂ equivale a 1 Crédito de Carbono - ^b Padrão sugerido pelo autor para neutralizar e gerar 1 crédito de carbono/m²

As estimativas de emissões totais de CO₂/obra, permitiram estimar a área e o número de árvores nativas necessárias à neutralização do CO₂ emitido, com base na equação 11, capítulo 3 do trabalho. A área média demandada equivale a 3,3 ha, ou aproximadamente, três campos de futebol. De maneira geral, nos cenários avaliados, torna-se necessário o plantio de uma árvore nativa por m² construído, considerando as emissões das fases de supraestrutura, alvenaria e reboco.

A densidade de plantio corresponde a 2.500 árvores por hectare, pois considera um espaçamento 2 metros por 2 metros entre indivíduos.

A neutralização pelo sequestro de carbono, biomassa acima do solo, por árvores nativas, pode ser considerado a primeira medida de mitigação das emissões. O segundo passo sugerido se refere à neutralização das quantidades emitidas mais a geração de créditos de carbono, considerando que 1tCO₂ equivale a 1 crédito de carbono. Obteve-se uma quantidade padrão de 07 árvores nativas por m² construído, ou seja, haveria necessidade de maior área de plantio.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONCLUSÕES

O objetivo geral, desta pesquisa de mestrado, foi alcançado, na qual consistiu em elaborar um inventário de gases de efeito estufa sobre atividades desenvolvidas por empresas construtoras e empresas fornecedoras de materiais de construção, em canteiros de obras, visando contabilizar a quantidade de CO₂ emitida em parte da etapa de construção, como nas fases de estrutura e de vedações.

Na quantificação das emissões nas supracitadas fases, considerou-se o consumo de serviços e materiais de construção civil, pelo sistema porteira a porteira, ou seja, da porta do fornecedor do serviço e/ou material de construção até a porta da obra, ou no canteiro de obras.

No desenvolvimento da revisão bibliográfica foram avaliados fatores de emissões de CO₂ de materiais de construção como: concreto, madeira de fôrma, aço de armaduras, escora metálica, escora de madeira, tijolo de laje, EPS e laje pré-fabricada vigota treliçada, ou tipo T. Na fase de alvenaria os fatores pesquisados se referem ao tijolo furado e aos componentes presentes nas argamassas de assentamento, como cimento, agregados miúdos, etc. Para a fase de reboco a pesquisa se delimitou somente no levantamento de dados de emissão sobre os componentes das argamassas de revestimento.

Os fatores de emissões relacionados ao consumo de energia elétrica nos processos envolvidos e ao consumo de combustível foram obtidos nas fontes Ministério de Ciência Tecnologia e Inovação e nas planilhas do Programa Brasileiro GHG Protocol versão 2012. Os fatores de emissão relacionados aos materiais são de fontes nacionais e internacionais, obtidos ou por métodos compatíveis ao IPCC, GHG Protocol e sua versão nacional do programa, ou por modelagem ou por outras metodologias como, como por exemplo, a de análise do ciclo de vida.

No decorrer da revisão identificou-se um cenário incipiente de pesquisa sobre fatores de emissão de materiais de construção e uma escassez de fatores específicos para a etapa da construção. Dessa forma, considerou-se a possibilidade de adaptações e conversões de grandezas para uma representação mais aproximada de um cenário de emissões para etapa, na Região da Grande Florianópolis, Santa Catarina.

Certamente, buscou-se priorizar a aplicação de fatores de emissão oriundos de inventários nacionais, com utilização de metodologia de cálculo compatível, porém, pelo critério adotado de análise de linearidade das variáveis houve momentos em que foi adotado fator de emissão internacional ou, em tese, menos adaptado a realidade brasileira.

Dessa forma, desenvolveu-se um método de coleta de dados de atividade, na etapa da construção, baseado nas premissas do Programa Brasileiro GHG Protocol, como os princípios, a necessidade de se justificar fatores de emissão não presentes na ferramenta, a necessidade de se determinar incertezas, a consideração do consumo de biodiesel no combustível da frota envolvida, etc. A etapa de construção de edifícios por envolver uma série de parâmetros relacionados ao processo produtivo torna a contabilização das emissões ainda mais complexa.

As obras são sistemas dinâmicos, por isso, em um primeiro momento se considerou a possibilidade de avaliar cenários parecidos, como por exemplo, edifícios verticais em alvenaria convencional ou de vedação, com número aproximado de pavimentos tipo, similares na utilização de materiais de construção, máquinas e equipamentos elétricos e, se possível, com fornecedores de serviços e materiais de construção em comum. A medida objetivou reduzir ao máximo a possibilidade de distorções de valores, para se determinar valores médios de emissão de CO₂ aceitáveis, no campo da pesquisa.

Com a finalidade de comprovar a aplicabilidade do método foi realizado um estudo de caso em 06 (seis) obras, de seis construtoras, na Região da Grande Florianópolis: 04 localizadas no município de Palhoça, 01 no município de São José e 01 no município de Florianópolis, parte continental. A partir dos levantamentos realizados conclui-se que:

- a) Nos cenários avaliados, por uma comparação duas médias, com 95% de confiabilidade, pode-se considerar que não houve diferença entre médias de fatores de emissão de CO₂ por m² construído obtidos pela análise de linearidade e por todas as combinações possíveis de fatores de emissão;
- b) O resultado da correlação de variáveis, através da análise do coeficiente de correlação e linha de tendência possibilitou a contabilização total por fase onde a maior emissora é a fase de supraestrutura, seguida de fase de alvenaria e fase de reboco de parede. Destaca-se, porém

que as correlações lineares para as fases de alvenaria e de revestimento interno foram baixos, devido a relação entre número de paredes e área construída;

- c) Os fatores de emissão médios por fase são: 123,54 kgCO₂/m² construído para fase de supraestrutura; 19,51 kgCO₂/m² construído para fase de alvenaria e 16,15 kgCO₂/m² construído para fase de reboco, com incertezas de 35,14%, 15,72% e 11,52%, respectivamente;
- d) Na fase de supraestrutura o fator de emissão por m² tem basicamente maior contribuição do: concreto, seguido de aço, madeira de fôrma e tijolo de laje;
- e) Na fase de alvenaria as emissões pelo consumo de tijolo furado foram sempre superiores às relacionadas ao consumo de argamassa de assentamento;
- f) De maneira geral os fatores de emissões das fases avaliadas são influenciados predominantemente pelo consumo dos materiais, em seguida pelo consumo de combustível no transporte de materiais de construção e fornecimento de serviços na construção e, por fim, pelo consumo de energia elétrica;
- g) Em média, as fases avaliadas que compõem a etapa da construção de edifícios, na Região da Grande Florianópolis, considerando uma amostra n=6, são responsáveis por uma emissão média total de 1.240 tCO₂ por Obra;
- h) A quantidade média emitida equivale à necessidade do plantio, em média de 8.200 árvores nativas, para neutralizar as emissões;
- i) Em cenários mais ambiciosos, sugere-se ao plantio de 7 árvores nativas por m² construído, na qual atende os critérios de neutralização e pode gerar crédito de carbono, considerando que 1tCO₂ é igual a 1 Crédito de Carbono;
- j) Na etapa de coleta de dados de atividades, *in loco*, a obtenção de informações referentes aos fornecedores de serviços e materiais de construção foi considerada de nível difícil, pois se identificou estados de resistência na comunicação, por parte dos fornecedores;
- k) Nos levantamentos de dados na literatura, identificaram-se poucas informações sobre dados de emissões específicos a etapa. Realmente, parece haver uma

tendência na aplicação da pesquisa sobre a etapa de fabricação de materiais e na operação de edifícios.

Com base no objetivo estabelecido no início dessa dissertação, as discussões sobre os resultados obtidos e as conclusões é possível afirmar que, utilizando a ferramenta disponibilizada pela versão nacional do Programa GHG Protocol como um referencial de diretrizes e conceitos é possível contabilizar as emissões de CO₂ na etapa da construção de edifícios. A geração dos fatores de emissão por m² construído, das fases supracitadas, poderá servir de suporte a tomada de decisão quanto a ações de mitigação de emissões. A melhoria ou medida de redução de emissão poderá ocorrer via escolha de material de construção, metodologia construtiva, uso de tecnologias mais limpas, melhoria de processo, melhoria de gestão de obra, neutralização das emissões, etc. Pode-se considerar um “ponto de partida” diante da possibilidade da redução e/ou neutralização de emissões de CO₂ se tornar um quesito de certificação de qualidade, na construção civil.

Torna-se necessário o avanço da pesquisa principalmente sobre fatores de emissões específicos as atividades que compõem a etapa da construção de um edifício. As escoras, elementos pré-fabricados, componentes das argamassas já poderiam ter fatores de emissão disponíveis a elaboração de inventários na etapa proposta.

Contudo, buscou-se desenvolver um cenário de referência para o estabelecimento de um “perfil” de emissões na etapa da construção, ainda, contribuir com o desenvolvimento sustentável e a inclusão do setor da construção civil na cultura de inventários de emissões de CO₂.

6.2 RECOMENDAÇÕES

Propõe-se o aprofundamento do estudo sobre os seguintes temas:

- a) Estudos sobre fatores de emissão na etapa da construção de edifícios em amostras com tamanhos que garantam menor erro amostral, sobre as fases de supraestrutura, alvenaria e reboco e as demais fases que compõem a etapa da construção de edifícios;
- b) Obtenção de um perfil de emissões sobre cenários em alvenaria estrutural;
- c) Estudo comparativo de cenários ou obras com emprego de tecnologia e inovação de menor emissão;
- d) Estudo comparativo de emissões entre elevador de cargas, guincho de coluna e grua, nos fluxos verticais de processos, para geração de fatores de emissão;
- e) Estudo da relação entre emissões e produtividade na construção.

REFERÊNCIAS

ABANDA, F. H.; TAH, J. H.; CHEUNG, F. K. T. Mathematical modelling of embodied energy, greenhouse gases, waste, timeecost parameters of building projects: A review. **Building and Environment** xxx (2012) 1e15. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 21 de outubro de 2012.

ABIMCI. **Catálogo de Painéis de Compensado de Pinus**. Programa Nacional da Qualidade da Madeira PNQM. 2007.

ANTUNES, R. G.; QUALHARINI, E. L. **A norma brasileira de mudanças climáticas – ABNT NBR ISO 14064**. IV Congresso Nacional de Excelência em Gestão. 2008.

ARAÚJO, V. M. **Práticas recomendadas para a gestão mais sustentável de canteiros de obras**. 2009. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 12721 – Avaliação de Custos Unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições condomínios edifícios – procedimentos**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14064 – Gases de efeito estufa. Parte 1: Especificação e orientação a organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa**. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **ABNT NBR ISO 14064 – Gases de efeito estufa. Parte 2: Especificação e orientação a projetos para quantificação, monitoramento e elaboração de relatórios das reduções de emissões ou da melhoria das remoções de gases e efeito estufa**. Rio de Janeiro, 2007.

_____, **ABNT NBR ISO 14064 – Gases de efeito estufa. Parte 3: Especificação e orientação para a validação e verificação de declarações relativas a gases de efeito estufa**. Rio de Janeiro, 2007.

_____, **ABNT NBR ISO 7211 – Agregado para concreto**. Rio de Janeiro, 2005.

_____, **ABNT NBR ISO 6120** – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

_____, **ABNT NBR ISO 11752** – Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial. Rio de Janeiro, 2007.

_____, **ABNT NBR ISO 14040** – Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2009a.

ATHENA SUSTAINABLE MATERIALS INSTITUTE. 2014. Athena Ecocalculator. Disponível em: < <http://www.athenasmi.org/our-software-data/ecocalculator/>>. Acesso em: 03 de abril de 2014.

AZEVEDO, M. F. C.; QUINTINO, I. **Manual Técnico: Um programa de compensação ambiental que neutraliza emissões de carbono através de projetos socioambientais de plantio de mudas nativas**. Rio de Janeiro: Ambiental Company. 2010

BARROS, M. M. S. B. de; MELHADO, S. B. **Recomendações para a produção de estruturas de concreto armado de edifícios**. São Paulo: EPUSP, 2006. 87 p.

BATH. University of Bath. **Embodied Carbon: the inventory of carbon and energy (ICE)**.UK: BSRIA, 2011.129p. Disponível em:<<https://www.bsria.co.uk/informationmenbership/bookshp/publication/embodied-carbon-the-inventory-of-carbon-and-ener-gy-ice/>>.Acesso em: 15 de fevereiro de 2014.

BENITE, A. **Emissões de carbono e a construção civil. Unidade de Sustentabilidade**. Centro de Tecnologia de Edificações. 2011. Disponível em: < www.cte.com.br/site/artigos>. Acesso em: 27 de novembro de 2011.

BESSA, V. M. T. **Contribuição à metodologia de avaliação das emissões de dióxido de carbono no ciclo de vida das fachadas de edifícios de escritório**. 2010. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

BIN, G.; PARKER, P. Measuring buildings for sustainability: Comparing the initial and retrofit ecological footprint of a century home – The REEP House. **Applied Energy**. Department of Geography and Environmental Management. University of Waterloo. Ontario, Canada. 2011. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 16 de julho de 2011.

BRASIL. Ministério de Ciência Tecnologia e Inovação. 2013. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**, Brasília, 15 p, 2013.

BRASIL. Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação. 2014. **Fatores de emissão de CO₂ pela geração de energia elétrica no sistema interligado nacional do Brasil**. Disponível em:<<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/346664.htm#ancora>>. Acesso em: 05 de agosto de 2014.

BRASIL. MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). 2009. **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: Guia de Orientação**, 2009.

BRASIL. Ministério de Ciência e Tecnologia. 2010. **Segundo Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa: Processos Industriais e Produtos Minerais – Produção de Cimento**, 36 p., 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). 2008. **Plano Nacional sobre Mudança do Clima**. Brasília, 22 p., 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). 2014. **Princípio da Precaução**. Disponível em<www.mma.gov.br/biodiversidade/item/7512-principio-da-precaucao>. Acesso em: 15 de abril de 2014.

BRASIL. Lei n. 12187, de 29 de dezembro de 2009. **Institui a Política Nacional sobre Mudança Climática – PNMC e dá outras providências**. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/12187.htm>. Acesso em: 09 de outubro de 2011.

CÂMARA BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL (CBIC). 2011. Desenvolvimento com sustentabilidade: construção sustentável.

CAMPOS, É. F.; PUNHAGUI, K. R. G.; JOHN, V. M. **Emissão de CO₂ do transporte da madeira nativa da Amazônia**. Ambiente Construído. 2011 Apr/Jun 2(11): 1-16 p.

CAMPOS, V. B. G. **Método de alocação de fluxo no planejamento de transportes em situações de emergência: definição de rotas disjuntas**. 1997. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CBCS. Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. 2012. **Ficha sobre impacto ambiental: madeira serrada da Amazônia extraída por exploração convencional**. CT Materiais CBCS, 2012.

CETESB. **Decisão da Diretoria nº 254/2012//I**. 2012. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). São Paulo, 2012.

CETESB. **Gases de Efeito Estufa**. 2014. Disponível em: <[www.cetesb.sp.gov.br/mudancas-climaticas/proclima/EfeitoEstufa/9-Gases de Efeito Estufa](http://www.cetesb.sp.gov.br/mudancas-climaticas/proclima/EfeitoEstufa/9-Gases%20de%20Efeito%20Estufa)>. Acesso em: 05 de abril de 2014.

CETESB. **1º Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa associados aos Processos Industriais: Produtos Minerais, Produção de Cimento do Estado de São Paulo de 1990 a 2008**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). São Paulo, 2010.

CETESB. **Inventário de emissões das fontes estacionárias do Estado de São Paulo: manual de preenchimento**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). São Paulo, 2009.

CETESB. **1º Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo – Relatório de Referência sobre Processos Industriais e Uso de Produtos: Emissões na produção metalúrgica**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). São Paulo, 2011.

CHEN, G. Q.; CHEN, Z. M.; ZHANG B.; SHAO, L.; GUO, S. Lowcarbon building assessment and multi-scale input-output analysis. **Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation**,

16 (2011), 583-595. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 06 de maio de 2012.

CIB. **Agenda 21 on sustainable construction**. CIB Reporting Publication 237, 67 p.,1999.

COSTA, B. L. C. **Quantificação das emissões de CO₂ geradas na produção de materiais utilizados na construção civil no Brasil**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CSI. **CO₂ Accounting and Reporting Standard for the Cement Industry: The Cement CO₂ Protocol**. Cement Sustainability Initiative (CSI). World Business Council for Sustainable Development, pg 46. 2005.

DECLARAÇÃO DO RIO, AGENDA 21, CNUMAD, 1992.

DEGANI, C. M.; CARDOSO, F. F. **A sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de edifícios: a importância da etapa de projeto arquitetônico**. In: NUTAU 2002 – Sustentabilidade, Arquitetura e Desenho Urbano. Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 7 a 11 de outubro de 2002.

DIMOUDI, A.; TOMPA, C. Energy and Environmental indicators related to construction of office buildings. **Resources, Conservation and Recycling**, 53(2008), 86-95. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 06 de maio de 2012.

EARTHSHIFT. SimaPro Impact Assessment Methods. 2013. Disponível em:< <http://www.earthshift.com/software/simapro/impact-assessment-methods>>. Acesso em: 03 de abril de 2014.

EVEN, Construtora e Incorporadora S/A. Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa : Inventário 2010. Fevereiro de 2011.

EVEN, Construtora e Incorporadora S/A. Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa : Inventário 2011. Março de 2012.

FERREIRA, C. A.; FREITAS, M. de; FERREIRA, M. **Densidade básica da madeira de plantações comerciais de eucaliptos, na Região de Mogi-Guaçu (SP)**. IPEF. 1979 Jun 10: 106-117 p.

GHG PROTOCOL. **Ferramenta GHG Protocol Software versão 2011.3.3.** 2012. Disponível em:<<http://www.ghgprotocolbrasil.com.br/index.php?r=site/CapaSecao&id=1>>.

GHG Protocol tool users. **Measurement and Estimation Uncertainty of GHG Emissions: protocol guidance on uncertainty assessment in GHG inventories and calculating statistical parameter uncertainty,** 2001. Disponível em:< <http://www.ghgprotocol.org/calculation-tools/all-tools>>.

HARBERT, G.; ROUSSEL, N. Study of two concrete mix-design strategies to reach carbon mitigation objectives. **Cement & Concrete Composites** 31 (2009) 397 – 402.

INSTITUTO CARBONO BRASIL. **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).** Disponível em:<www.institutocarbonobrasil.org.br/mecanismo_de_desenvolvimento_limpo>. Acesso em: 12 de abril de 2014.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change: **Contribution of Working Group III for Special Report Emissions Scenarios (2000).** Disponível em: < <http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 01 de dezembro de 2011.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change: **Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental panel on climate change (2007).** Disponível em: < <http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 01 de dezembro de 2011.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change: **Mineral Industry Emissions (2006).** Disponível em: < <http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 01 de dezembro de 2011.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change: **Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (2011).** Disponível em: < <http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 01 de dezembro de 2011.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change: **Second Assessment Climate Change (1995).** Disponível em: < <http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 01 de dezembro de 2011.

IPCC. **Inventory Software, version 2.12,** 2013.

JEONG, Y. S.; LEE, S. E.; HUH, J. H. Estimation of CO₂ emission of apartment buildings due to major construction materials in the Republic of Korea. **Energy and Buildings** 49 (2012) 437-442. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 14 de outubro de 2012.

KOEPEL, S.; NOVIKOVA, A. **Avaliação de Políticas Públicas para Redução da Emissão de Gases de Efeito Estufa em Edificações**. Relatório PNUMA – Iniciativa para Edificações e Construções Sustentáveis. Universidade da Europa Central. Budapeste, 2007, 81pp.

LAFARGE. **Novas metas de CO₂: “Da produção à construção”**. 2011. Disponível em: <www.lafarge.com.br/wps/portal/br>. Acesso em: 14 de abril de 2013.

LIMA; J. A. R. **Avaliação das consequências da produção de concreto no Brasil para as mudanças climáticas**. 2010. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

LOBO, F. H. R. **Inventário de emissão equivalente de dióxido de carbono e energia embutida na composição de serviços em obras públicas: estudo de caso no Estado do Paraná**. 2010. 1000f. Tese de mestrado em Construção Civil - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, UFPR, Curitiba.

MARCOS, M. H. C. **Análise da emissão de CO₂ em edificações através do uso de uma ferramenta CAD-BIM**. In: SIGraDi 2009 sp – From Modern to Digital: The Challenges of a Transition. Novembro 2009, São Paulo. 5 p.

MIYAZATO, T.; OLIVEIRA, C. T. A. Avaliação do ciclo de vida (ACV): aplicações e limitações no setor da construção civil. In: ENCONTRO NACIONAL E III ENCONTRO LATINO-AMERICANO, ELECS. Recife. **Anais Elecs Recife**, 2009.

MOLINON, L. C. B. Desmistificando o aquecimento global. **Instituto de Ciências Atmosféricas**, Universidade Federal de Alagoas, 2007. Disponível em: <http://www.lgmh.ufpe.br/biomol/AGA/molion_desmist.pdf>. Acesso em: 10 abril de 2014.

PALERMO, G. P. M.; LATORRACA, J. V. F.; SEVERO, E. T. D.; REZENDE, M. A. de; ABREU, H. S. **Determinação da densidade da madeira de *Pinus elliottii* ENGELM, através de atenuação de radiação gama comparada a métodos tradicionais.** Floresta e Ambiente. 2004 Ago/Dez 1(11):1-6.

POLZL, P. F. K. **Análise da Produtividade em Fábricas de Painéis Compensados Plásticos.** Dissertação (Mestrado) em Engenharia de Produção, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Área de Concentração: Produção e Manutenção, do Campus Ponta Grossa, da UTFPR, 2011.

PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL. **Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol: contabilização, quantificação e publicação de inventários corporativos de emissões de gases de efeito estufa.** 2ª ed. Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), 2010.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). 2011. Rumo e economia verde: **caminhos para o desenvolvimento sustentável e a erradicação da pobreza.** Síntese de tomadores de opiniões, 21-22 p., 2011.

RAMANATHAN, V.; FENG, Y. Air pollution, greenhouse gases and climate change: Global and regional perspectives. **Atmospheric Environment** 43 (2009) 37–50. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 06 de maio de 2012.

RECIPE. Characterisation. 2013. Disponível em: <<http://www.lcia-recipe.net/characterisation-and-normalisation-factors>>. Acesso em: 03 de abril de 2014

SAURIN, T. A.; FORMOSO, C. T. **Planejamento de canteiros de obra e gestão de processos.** HABITARE, v. 3. Porto Alegre: ANTAC, 2006.

SCHEUER, C.; KEOLEIAN, G. A.; REPPE, P. Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications. **Energy and Buildings**, 35 (2003), 1049-1064. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 05 de maio de 2014.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO (SINDUSCON-SP). 2013. **Guia Metodológico para Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Construção Civil - Setor Edificações**. Disponível em: <<http://www.sindusconsp.com.br/msg2.asp?id=5020>>. Acesso em: 30 de abril de 2014.

SILVA, N. G. da. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. 2006. Dissertação (Mestrado). Setor de Tecnologia do Programa de Pós-graduação em Construção Civil. Universidade Federal do Paraná.

SUDIN, H.; RANGANATHAN, J. Managing Business Greenhouse Gas Emissions: The Greenhouse Gas Protocol – A Strategic and Operational Tool. **International Journal of Corporate Sustainability** Vol. 9, No. 2 (2002). Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 22 de outubro de 2012.

TCPO. Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos.- 13. ed.- São Paulo: Pini, 2008.

UNEP SBCL. **Buildings and Climate Changes: summary for decision-makers**. Sustainable Buildings & Climate Initiative. United Nations, 2009.

UNFCCC. **Non-Annex I Greenhouse Gas Inventory Software, version 1.3.2**, 2007

URGE-VORSATZ, D.; NOVIKOVA, A. **Potentials and costs of carbon dioxide mitigation in the world's buildings**. Department of Environmental Sciences and Policy, Central European University, Nador Budapest, Hungary, 2007. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 10 de julho de 2011.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). 2009. **Potential for reducing greenhouse gas emissions in the construction sector**, Washington, DC, 6 p., 2009.

VALVERDE, F. M. **Balanco Mineral Brasileiro**. Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção (ANEPAC). São Paulo, 2001.

VEIGA, J. E. **Desenvolvimento sustentável: o desafio do século XXI** – Rio de Janeiro, Garamond, 3a edição. 2008

VOTORANTIM. **Relatório de Sustentabilidade**. São Paulo: Votorantim Industrial, 2010. 160 p.

WATANABE, S. Clima preocupa construção civil. In: ENCONTRO DE EMPRESÁRIOS DA INDÚSTRIA E DA CONSTRUÇÃO CIVIL, Sinduscon. 2009 São Paulo. **Edição 58 Setembro de 2009**. São Paulo: SINDUSCON, 2009. Disponível em:< www.arcoweb.com.br>. Acesso em: 16 de julho de 2009.

WBCSD. World Business Council for Sustainable Development - Cement Sustainable Initiative (CSI). 2010. **GNR Project Reporting CO2: indicator 323 Brazil**. Disponível em:<http://wbcsdcement.org/GNR-2010/Brazil/GNR-Indicator_323-Brazil.html>. Acesso em: 25 de março de 2013.

WBCSD. World Business Council for Sustainable Development - Cement Sustainable Initiative (CSI).. 2010. **GNR Project Reporting CO2: indicator 323 World**. Disponível em:<http://wbcsdcement.org/GNR-2010/Brazil/GNR-Indicator_323-World.html>. Acesso em: 25 de março de 2013.

ZANGUELINI, G. M.; CHERUBINI, E.; GALINDRO, B. M.; SOARES, S. R. **Percepções do Uso de Diferentes Métodos de AICV: Uma Comparação Baseada no Aquecimento Global**. III Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços “Novos desafios para um planeta sustentável” 03 a 06 de setembro de 2012 Maringá – PR – Brasil.

ZENID, G. J. **Madeira : uso sustentável na construção civil**. -- 2. ed. -- São Paulo : Instituto de Pesquisas Tecnológicas : SVMA, 2009. -- (Publicação IPT ; 3010)

ZHANG, X.; CHEN, L.; ZHANG, L. **Life cycle assessment of their air emission during building construction process: a case study in Hong Kong**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 17 (2013), 160-169. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 05 de maio de 2014

APÊNDICE A – Memorial de Cálculo Padrão Fase de Supraestrutura – Exemplo “OBRA B” – Emissão por consumo de material e serviços da construção civil

CONCRETO		
Média	105,00	m³
Área Pavto Tipo	914,7	m²
FE Lima (2010)	225,00	kgCO2/m³
Total emitido:	23625,00	kgCO2
Total emitido/m² de construção:	25,8281	kgCO2/m²
FE Bath (2011)	282,50	kgCO2/m³
Total emitido:	29662,50	kgCO2
Total emitido/m² de construção:	32,4287	kgCO2/m²
FE Costa (2012)	387,00	kgCO2/m³
Total emitido:	40635,00	kgCO2
Total emitido/m² de construção:	44,4244	kgCO2/m²
MADEIRA (FÔRMA)		
Área Total de Fôrma	896,54	m²
Espessura da tábua de pinus	0,025	m
Volume de madeira de fôrma	22,41	m³
FE Marcos (2009)	87,33	kgCO2/m³
Total emitido:	1957,45	kgCO2
Total emitido/m² de construção:	2,1400	kgCO2/m²
FE Bath (2011)	480,00	kgCO2/m³
Total emitido:	10758,48	kgCO2
Total emitido/m² de construção:	11,7618	kgCO2/m²
FE Costa (2012)	404,60	kgCO2/m³
Total emitido:	9068,50	kgCO2
Total emitido/m² de construção:	9,9142	kgCO2/m²

AÇO		
Média	10200,00	kg
Área Pavto Tipo	914,7	m²
FE IPCC (2006)-CETESB (2009)-Bath (2011)	1,46	kgCO2/kg
Total emitido:	14892,00	kgCO2
Total emitido/m² de construção:	16,2807	kgCO2/m²
FE Costa (2012)	1,845	kgCO2/kg
Total emitido:	18819,00	kgCO2
Total emitido/m² de construção:	20,5740	kgCO2/m²
ESCORA METÁLICA		
Número de escoras de h=3m	1100	un
Peso unitário	12,0	kg
Peso total	13200	kg
Área Pavto Tipo	914,7	m²
FE IPCC (2006)-CETESB (2009)-Bath (2011)	1,46	kgCO2/kg
Total emitido:	19272,00	kgCO2
Total emitido/m² de construção:	21,0692	kgCO2/m²
FE Costa (2012)	1,845	kgCO2/kg
Total emitido:	24354,00	kgCO2
Total emitido/m² de construção:	26,6251	kgCO2/m²
EPS (0,40 x 0,40 x 0,20 m)		
Número total de tijolos 20x24x24cm	2300	un.
Peso unitário	0,51	kg
Peso total	1173	kg
Área Pavto Tipo	914,7	m²
FE Bath (2011)	3,29	kgCO2/kg
Total emitido:	3859,17	kgCO2
Total emitido/m² de construção:	4,2191	kgCO2/m²

**APÊNDICE A continuação– Memorial de Cálculo Padrão Fase de Supraestrutura – Exemplo “OBRA B” –
Emissão por consumo de energia elétrica para transformação e transporte do material de construção**

CONCRETO

Vibrador de Concreto	1,0	un
Tensão	220	V
Potência Elétrica	1400	W
Tempo de concretagem	9,0	h
Energia Elétrica Consumida	12,6	kWh
FE MCT (2013)	0,5932	kgCO2/kWh
Total emitido:	7,47	kgCO2
Total emitido/m² de construção:	0,0082	kgCO2/m²

MADEIRA (FÔRMA)

Serra de Bancada	1,0	un
Tensão	220	V
Potência Elétrica	2,2000	kW
Tempo de produção de fôrmas	45,0	h
Energia Elétrica Consumida	99,00	kWh
FE MCT (2013)	0,5932	kgCO2/kWh
Total emitido:	58,73	kgCO2
Total emitido/m² de construção:	0,0642	kgCO2/m²

AÇO

Policorte	1,0	un
Tensão	220	V
Potência Elétrica	2,2064	kW
Tempo de produção de armaduras	45,0	h
Energia Elétrica Consumida	99,29	kWh
FE MCT (2013)	0,5932	kgCO2/kWh
Total emitido:	58,8976	kgCO2
Total emitido/m² de construção:	0,0644	kgCO2/m²
Guincho de Coluna	1,0	un
Tensão	220	V
Potência Elétrica	1,1032	kW
Tempo de deslocamento vertical	18,0	h
Energia Elétrica Consumida	19,86	kWh
FE MCT (2013)	0,5932	kgCO2/kWh
Total emitido:	11,7795	kgCO2
Total emitido/m² de construção:	0,0129	kgCO2/m²

ESCORAS METÁLICAS

Não há emissões por consumo de energia elétrica.
As escoras são deslocadas manualmente de um pavto tipo o próximo pavto tipo.

APÊNDICE A continuação– Memorial de Cálculo Padrão Fase de Supraestrutura – Exemplo “OBRA B” – Emissão por consumo de combustível para o transporte do material de construção

CONCRETO			MADEIRA (FÔRMA)			EPS (0,40 x 0,40 x 0,20 m)		
Caminhão Basculante Cap. 8m³	13,0	un	Caminhão FORD CARGO 2429 Cap. 22m² de madeira	1,0	un	Caminhão Cap. 13t	1,0	un
Caminhão Bomba	1,0	un	Autonomia Rodando	4,5	km/l	Autonomia Rodando	5,56	km/l
Autonomia Cam. Basic. Rodando	3,3	km/l	Distância Fornecedor e Obra	8,0	km	Distância Fornecedor e Obra	250,0	km
Autonomia Cam. Basic. Basculando	1,7	m³	Número de viagens	1,01880		Número de viagens	1,0	
Autonomia Cam. Bomba Rodando	3,3	km/l	Número de viagens arredondado	1,0		Número de viagens arredondado	1,0	
Autonomia Cam. Bomba Bombeando	1,7	m³	Consumo de diesel Caminhão	1,7	l	Consumo de diesel Caminhão	42,7158	l
Distância entre Concreteira e Obra	3,5	km	Consumo de biodiesel Caminhão	0,09	l	Consumo de biodiesel Caminhão	2,2482	l
Consumo de diesel Cam. Basic Rodando	1,0076	l						
Consumo de biodiesel Cam. Basic Rodando	0,0530	l	FE GHG Protocol (2012): Diesel - Móvel	2,6710	kgCO2/l	FE GHG Protocol (2012): Diesel - Móvel	2,6710	kgCO2/l
Consumo de diesel Cam. Basic Basculando	12,92	l	FE GHG Protocol (2012): Biodiesel - Móvel	2,4991	kgCO2/l	FE GHG Protocol (2012): Biodiesel - Móvel	2,4991	kgCO2/l
Consumo de biodiesel Cam. Basic Basculando	0,68	l	Sub-total diesel emitido por Caminhão Forn. Madeira	4,5110	kgCO2	Sub-total diesel emitido por Caminhão Forn. EPS	114,094	kgCO2
Consumo de diesel Cam. Bomba Rodando	1,0076	l	Sub-total biodiesel emitido por Caminhão Forn. Madeira	0,2221	kgCO2	Sub-total biodiesel emitido por Caminhão Forn. EPS	5,61848	kgCO2
Consumo de biodiesel Cam. Bomba Rodando	0,05303	l	Sub-Total emitido por Caminhão Forn. Madeira	4,7332	kgCO2	Sub-Total emitido por Caminhão Forn. EPS	119,712	kgCO2
Consumo de diesel Cam. Bomba Bombeando	12,92	l	Total emitido por Caminhão Forn. Madeira	9,46633	kgCO2	Total emitido por Caminhão Forn. EPS	239,425	kgCO2
Consumo de biodiesel Cam. Bomba Bombeando	0,68	l	Total emitido/ m³ de construção	0,0103	kgCO2	Total emitido/ m³ de construção	0,2618	kgCO2
			Total emitido por km rodado	0,5916	kgCO2	Total emitido por km rodado	0,9577	kgCO2
FE GHG Protocol (2012): Diesel - Móvel	2,6710	kgCO2/l	AÇO			ESCORRA METÁLICA		
FE GHG Protocol (2012): Biodiesel - Móvel	2,4991	kgCO2/l	Caminhão VOLKSWAGEN CONSTELLATION 22.450 Cap. 18t	1,0	un	Caminhão VOLKSWAGEN	1,0	un
Sub-total diesel emitido por Caminhão Basic Rodando	2,7	kgCO2	Autonomia Rodando	3,0	km/l	Autonomia Rodando	4,5	km/l
Sub-total biodiesel emitido por Caminhão Basic Rodando	0,13	kgCO2	Distância Fornecedor e Obra	4,0	km	Distância Fornecedor e Obra	380,0	km
Total emitido por Caminhão Basic Rodando	2,8338	kgCO2	Número de viagens	1,0		Número de viagens	1,0	
Total emitido por Caminhão Basic Rodando (ida+volta)	5,6475	kgCO2	Número de viagens arredondado	1,0		Número de viagens arredondado	1,0	
			Consumo de diesel Caminhão	1,2667	l	Consumo de diesel Caminhão	80,2222	l
FE GHG Protocol (2012): Diesel - Estacionário	2,6000	kgCO2/l	Consumo de biodiesel Caminhão	0,0667	l	Consumo de biodiesel Caminhão	4,2222	l
FE GHG Protocol (2012): Biodiesel - Estacionário	2,3000	kgCO2/l						
Sub-total diesel emitido por Caminhão Basic Basculando	33,6	kgCO2	FE GHG Protocol (2012): Diesel - Móvel	2,6710	kgCO2/l	FE GHG Protocol (2012): Diesel - Móvel	2,6710	kgCO2/l
Sub-total biodiesel emitido por Caminhão Basic Basculando	1,6	kgCO2	FE GHG Protocol (2012): Biodiesel - Móvel	2,4991	kgCO2/l	FE GHG Protocol (2012): Biodiesel - Móvel	2,4991	kgCO2/l
Total emitido por Caminhão Basic Basculando	35,16	kgCO2	Sub-total diesel emitido por Caminhão Forn. Concreto	3,3833	kgCO2	Sub-total diesel emitido por Caminhão Forn. Escora Metálica	214,274	kgCO2
			Sub-total biodiesel emitido por Caminhão Forn. Concreto	0,1666	kgCO2	Sub-total biodiesel emitido por Caminhão Forn. Escora Metálica	10,5518	kgCO2
Total emitido por todos Caminhões Basculante	530,446	kgCO2	Sub-Total emitido por Caminhão Forn. Concreto	7,0997	kgCO2	Sub-Total emitido por Caminhão Forn. Escora Metálica	224,825	kgCO2
Total emitido/ m³ de construção	0,5799	kgCO2	Total emitido por Caminhão Forn. Concreto	14,1995	kgCO2	Total emitido por Caminhão Forn. Escora Metálica	449,651	kgCO2
Total emitido por km rodado	0,8068	kgCO2	Total emitido/ m³ de construção	0,0155	kgCO2	Total emitido/ m³ de construção	0,4916	kgCO2
			Total emitido por km rodado	1,7749	kgCO2	Total emitido por km rodado	0,5916	kgCO2
Total emitido por Caminhão Bomba Rodando (ida+volta)	5,6475	kgCO2						
Total emitido por Caminhão Bomba Bombeando	457,028	kgCO2						
Total emitido por Caminhão Bomba	462,676	kgCO2						
Total emitido/ m³ de construção	0,5058	kgCO2						
Total emitido por km rodado	0,8068	kgCO2						

APÊNDICE B – Memorial de Cálculo Padrão Fase de Alvenaria – Exemplo “OBRA B” – Emissão por consumo de material e serviços da construção civil

TÍPOLO DE FURADO (VEDAÇÃO)		
Numero total de tijolos 11,5x19x19cm	20.700	un.
Peso unitário	2,79	kg
Peso total	57753	kg
Área Pavto Tipo	914,7	m ²
Área de Parede	838,97	m ²
FE Bath (2011)	0,24	kgCO2/kg
Total emitido:	13860,72	kgCO2
Total emitido/m ² de construção:	15,1533	kgCO2/m ²
Total emitido/m ² de parede	16,5211	kgCO2/m ²
FE Costa (2012)	0,111	kgCO2/kg
Total emitido:	6410,58	kgCO2
Total emitido/m ² de construção:	7,0084	kgCO2/m ²
Total emitido/m ² de parede	7,6410	kgCO2/m ²
ARGAMASSA ASSENTAMENTO		
Referência de medida padrão	Dimensões (m)	Volume (m ³)
Padiola	0,33 x 0,33 x 0,42	0,046
Traço da Argamassa de Assentamento		Volume (m ³)
Areia Média Fina	2x	0,091
Cimento	1x	0,046
Areia Fina	4x	0,183
Virada de Argamassa de Assentamento - Levantamento <i>in loco</i>		
O1(uma) Virada equivale a O2 (carrinhos) carrinhos preenchidos		
O2 carrinhos possui um volume de 0,14m ³		
02 carrinhos totalizam, em média, um volume de argamassa igual a 0,258m ³		0,258
Estimativa de volume aplicado de argamassa assentamento por 1m ² de alven.		
0,012m ³		0,012
Referência: Planilha Levantamento da Alvenaria - Apêndice D		
Step-by-Step		
1ª Areia Média Fina		
(0,091 x 0,012) ÷ 0,258		m ³ de areia méd fina
0,0043		m ³ de areia méd fina
2ª Cimento		
(0,046 x 0,012) ÷ 0,258		m ³ de cimento
0,0021		m ³ de cimento
3ª Areia Fina		
(0,183 x 0,012) ÷ 0,258		m ³ de areia fina
0,0085		m ³ de areia fina
4ª Proporções com base na área de parede		
(1.130,61m ² de parede x 0,012m ³ de arg) ÷ 1m ² de parede		
10,068		
São 10,068 m ³ de argamassa de assentamento por Pavto Tipo		

5ª Proporções por Componentes da Argamassa

Areia Média Fina	
3,5696	m ³ de areia méd fina
Cimento	
1,7848	m ³ de cimento
Volume saco de cimento 50kg	
0,036m ³	Fonte
Votorantim	
Número de sacos de cimento de 50kg	
49,58	50,00

Areia Fina	
7,1391	m ³ de areia fina

6ª Relações de Emissões para FE de Lima (2010)

Cimento	Volume
1,785	m ³
Densidade média adotada do cimento	
Não se aplica	
Emissão de CO2/ sc de 50kg de cimento com base em FE de Lima (2010) - kgCO2	
32,95	

FE Lima (2010) - Cimento	0,659	kgCO2/kg
Total emitido:	1647,50	kgCO2
Emissão de cimento em 0,012m ³ de argamassa de assent	1,9637	kgCO2

7ª Relações de Emissões para FE de Marcos (2009)

Areia Média Fina	
3,570	m ³
Densidade média adotada da Areia Média Fina (Fabricante)	
1470kg/m ³	
Massa de areia média fina) em kg	
6,25	

FE Marcos (2009) - Areia Média Fina	0,0058	kgCO2/kg
Total emitido:	0,0363	kgCO2

8ª Relações de Emissões para FE de Marcos (2009)

Areia Fina	
7,139	m ³
Densidade média adotada da Areia Fina (Fabricante)	
1300kg/m ³	
Massa de areia fina em kg	
11,06	

FE Marcos (2009) - Areia Fina	0,0058	kgCO2/kg
Total emitido:	0,0642	kgCO2

9ª Balanco Geral

Componente da Argamassa de Assentamento	kgCO2
Areia Média Fina	0,0363
Cimento	1,96
Areia Fina	0,0642
Total emitido em 0,012m ³ de argamassa de assentamento	2,00
Emissão de CO2 por 1m ² de argamassa de assentamento	166,67

FE Marcos (2009) e FE de Lima (2010)

Total emitido:	1677,93	kgCO2
Total emitido/m² de construção:	1,8344	kgCO2/m²
Total emitido/m² de parede	2,0000	kgCO2/m²

APÊNDICE B continuação– Memorial de Cálculo Padrão Fase de Alvenaria – Exemplo “OBRA B” – Emissão por consumo de energia elétrica para transformação e transporte do material de construção

TIJOLO DE FURADO (VEDAÇÃO)

Elevador de Cargas	1,0	un
Tensão	220	V
Potência Elétrica	7,3500	kW
Rendimento do motor	91	%
Potência Elétrica Real	8,0769	kW
Deslocamento médio de tijolos	125,6	un
Número de subidas e descidas	160,00	
Tempo médio de subida+descida	20096	s
Tempo total de subidas+descida	5,5822	h
Energia Elétrica Consumida	45,0872	kWh
FE MCT (2013)	0,5932	kgCO2/kWh
Total emitido:	26,7457	kgCO2
Total emitido/m ² de construção:	0,0292	kgCO2/m ²
Total emitido/m ² de parede	0,0319	kgCO2/m ²

ARGAMASSA ASSENTAMENTO

Betoneira	1,0	un
Tensão	220	V
Potência Elétrica	1,47	kW
Rendimento do motor	81,5	%
Capacidade de Produção	400	l
Potência Real Elétrica	1,8037	kW
Tempo de uma virada	0,0833	h
Energia Elétrica Consumida	0,1503	kWh
Emissão	0,0041	kgCO2
Emissão em 10,068m ² de argamassa	3,4793	kgCO2
Total emitido/m² de construção:	0,0038	kgCO2/m²
Total emitido/m² de parede	0,0041	kgCO2/m²

Elevador de Cargas	1,0	un
Tensão	220	V
Potência Elétrica	7,3500	kW
Rendimento do motor	91,00	%
Potência Elétrica Real	8,0769	kW
Deslocamento argamassa	0,420	m ³
Número de subidas e descidas	25,00	
Tempo médio de subida+descida	160	s
Tempo total de subidas+descida	1,1	h
Energia Elétrica Consumida	8,9744	kWh
FE MCT (2013)	0,5932	kgCO2/kWh
Total emitido:	5,3236	kgCO2
Total emitido/m² de construção:	0,0058	kgCO2/m²
Total emitido/m² de parede	0,0063	kgCO2/m²

APÊNDICE B continuação– Memorial de Cálculo Padrão Fase de Alvenaria – Exemplo “OBRA B” – Emissão por consumo de combustível para o transporte do material de construção

TIJOLO DE FURADO (VEDAÇÃO)

Caminhão FORD CARGO 2428 Cap. 15t ou 5300tj/viagem	1,0	un
Autonomia Rodando	4,0	km/l
Distância Fornecedor e Obra	60,0	km
Número de viagens	3,9	
Número de viagens arredondado	4,0	
Consumo de diesel Caminhão	14,25	l
Consumo de biodiesel Caminhão	0,7500	l

FE GHG Protocol (2012): Diesel - Móvel	2,6710	kgCO2/l
FE GHG Protocol (2012): Biodiesel - Móvel	2,4991	kgCO2/l
Sub-total diesel emitido por Caminhão Forn. Tijolo de vedação	38,0618	kgCO2
Sub-total biodiesel emitido por Caminhão Forn. Tijolo de vedação	1,87433	kgCO2
Sub-Total emitido por Caminhão Forn. Tijolo	39,9361	kgCO2
Total emitido por Caminhão Forn. Tijolo de vedação	319,489	kgCO2
Total emitido/m ² de construção	0,3493	kgCO2
Total emitido/m ² de parede	0,3808	kgCO2
Total emitido por km rodado	0,6656	kgCO2

ARGAMASSA ASSENTAMENTO

Caminhão Modelo 1620 Mercedes Benz Cap. Carga Fechada até 280 sc de cimento de 50kg	1,0	un
Autonomia Rodando	3,0	km/l
Distância Fornecedor e Obra	146,0	km
Número de viagens	1,0	
Número de viagens arredondado	1,0	
Consumo de diesel Caminhão	46,2333	l
Consumo de biodiesel Caminhão	2,4333	l

FE GHG Protocol (2012): Diesel - Móvel	2,6710	kgCO2/l
FE GHG Protocol (2012): Biodiesel - Móvel	2,4991	kgCO2/l
Sub-total diesel emitido por Caminhão Forn. Cimento	123,489	kgCO2
Sub-total biodiesel emitido por Caminhão Forn. Cimento	6,08114	kgCO2
Sub-Total emitido por Caminhão Forn. Cimento	129,57	kgCO2
Total emitido por Caminhão Forn. Cimento	259,141	kgCO2
Total emitido/m ² de construção	0,2833	kgCO2
Total emitido/m ² de parede	0,3089	kgCO2
Total emitido por km rodado	0,8875	kgCO2

Caminhão Basculante 4x2 Mercedes Bens Cap. 6m ³ Areia Média Fina	1,0	un
Autonomia Rodando	4,0	km/l
Distância Fornecedor e Obra	21,0	km
Número de viagens	2,00	
Número de viagens arredondado	2,0	
Consumo de diesel Caminhão	4,9875	l
Consumo de biodiesel Caminhão	0,2625	l

FE GHG Protocol (2012): Diesel - Móvel	2,6710	kgCO2/l
FE GHG Protocol (2012): Biodiesel - Móvel	2,4991	kgCO2/l
Sub-total diesel emitido por Caminhão Forn. Areia Média Fina	13,3216	kgCO2
Sub-total biodiesel emitido por Caminhão Forn. Areia Média Fina	0,65601	kgCO2
Sub-Total emitido por Caminhão Forn. Areia Média Fina	13,9776	kgCO2
Total emitido por Caminhão Forn. Areia Média Fina	55,9105	kgCO2
Total emitido/m ² de construção	0,0611	kgCO2
Total emitido/m ² de parede	0,0666	kgCO2
Total emitido por km rodado	0,6656	kgCO2

Caminhão Basculante 4x2 Mercedes Bens Cap. 6m ³ Areia Fina	1,0	un
Autonomia Rodando	4,0	km/l
Distância Fornecedor e Obra	21,0	km
Número de viagens	3,00	
Número de viagens arredondado	3,0	
Consumo de diesel Caminhão	4,9875	l
Consumo de biodiesel Caminhão	0,2625	l

FE GHG Protocol (2012): Diesel - Móvel	2,6710	kgCO2/l
FE GHG Protocol (2012): Biodiesel - Móvel	2,4991	kgCO2/l
Sub-total diesel emitido por Caminhão Forn. Areia Fina	13,3216	kgCO2
Sub-total biodiesel emitido por Caminhão Forn. Areia Fina	0,65601	kgCO2
Sub-Total emitido por Caminhão Forn. Areia Fina	13,9776	kgCO2
Total emitido por Caminhão Forn. Areia Fina	83,8658	kgCO2
Total emitido/m ² de construção	0,0917	kgCO2
Total emitido/m ² de parede	0,1000	kgCO2
Total emitido por km rodado	0,6656	kgCO2

APÊNDICE C – Memorial de Cálculo Padrão Fase de Reboco – Exemplo “OBRA B” – Emissão por consumo de material e serviços da construção civil

ARGAMASSA REVESTIMENTO (REBOCO)

Área Pavto Tipo	914,7	m ²
Área de Parede	838,97	m ²
Média argamassa revestimento por área de parede	0,0317	m ³ /m ²

Volume de Argamassa de Revestimento Interno (REBOCO) por Pavimento Tipo	Unidade
26,5953	m³

Cubagem da Jerica de argamassa	0,14	m ³
--------------------------------	------	----------------

Referência de medida padrão	Dimensões (m)	Volume (m ³)
Padiola	0,33 x 0,33 x 0,42	0,046

Traço da Argamassa de Assentamento		Volume (m ³)
Areia Média Fina	2x	0,091
Cimento	1x	0,046
Areia Fina	3x	0,137

Virada de Argamassa de Assentamento - Levantamento in loco		
01(uma) Virada equivale a 02 (carrinhos) carrinhos preenchidos		
01 carrinho possui um volume de 0,14m ³		
02 carrinhos totalizam, em média, um volume de argamassa igual a 0,270m ³ (cheio)		0,274

Estimativa de volume aplicado de argamassa revestimento por 1m ² de alven.		
0,0317m ³		0,0317
Referência: Planilha Levantamento do Reboco		

Step-by-Step

1ª Areia Média Fina		
(2 x 0,046)	m ³ de areia méd fina	
0,0915	m ³ de areia méd fina	

2ª Cimento		
(1 x 0,046)	m ³ de cimento	
0,0457	m ³ de cimento	

3ª Areia Fina		
(3 x 0,046)	m ³ de areia fina	
0,1372	m ³ de areia fina	

4ª Proporções com base na área de parede		
(838,97m ² de parede x 0,0317m ³ de arg) ÷ 1m ² de parede		
26,595		
São 26,60 m ³ de argamassa de revestimento por Pavto Tipo		

5ª Proporções por Componentes da Argamassa

Areia Média Fina	
0,0106	m³ de areia méd fina

Cimento	
0,0053	m³ de cimento

Volume saco de cimento 50kg	Fonte
0,036m ³	Votorantim

Número de sacos de cimento de 50kg	
123,13	123,00

6ª Relações de Emissões para FE de Lima (2010)

Cimento	Volume
0,0053	m³

Densidade média adotada do cimento	
Não se aplica	

Emissão de CO ₂ /sc de 50kg de cimento com base em FE de Lima (2010) - kgCO ₂	
32,95	

FE Lima (2010) - Cimento	0,659	kgCO ₂ /kg
Total emitido:	4053,85	kgCO ₂
Emissão de cimento em 0,0317m ³ de reboco.	4,8307	kgCO ₂

7ª Relações de Emissões para FE de Marcos (2009)

Areia Média Fina	
0,0106	m³

Densidade média adotada da Areia Média Fina (Fabricante)	
1470kg/m ³	

Massa de areia média fina em kg	
15,53	

FE Marcos (2009) - Areia Média Fina	0,0058	kgCO ₂ /kg
Total emitido:	0,0901	kgCO ₂

8ª Relações de Emissões para FE de Marcos (2009)

Areia Fina		Volume
0,0159		m³

Densidade média adotada da Areia Fina (Fabricante)	
1300kg/m ³	

Massa de areia fina em kg	
20,61	

FE Marcos (2009) - Areia Fina	0,0058	kgCO ₂ /kg
Total emitido:	0,1195	kgCO ₂

9ª Balanço Geral

Componente da Argamassa de Revestimento (Reboco)	kgCO ₂
Areia Média Fina	0,0901
Cimento	4,83
Areia Fina	0,1195
Total emitido em 0,0317m ³ de reboco	4,92

Emissão de CO ₂ por 1m ² de argamassa de assentamento	155,23
-----------------------------------------------------------------------------	--------

FE Marcos (2009) e FE de Lima (2010)	
Total emitido:	4128,43 kgCO ₂
Total emitido/m² de construção:	4,5134 kgCO₂/m²
Total emitido/m² de parede	4,9208 kgCO₂/m²

APÊNDICE C continuação– Memorial de Cálculo Padrão Fase de Reboco – Exemplo “OBRA B” – Emissão por consumo de energia elétrica para transformação e transporte do material de construção

ARG. REVESTIMENTO

Betoneira	1,0	un.
Tensão	220	V
Potência Elétrica	1,1	kW
Rendimento do motor	77	%
Capacidade de Produção	400	l
Potência Real Elétrica	1,4286	kW
Tempo de uma virada	0,0833	h
Energia Elétrica Consumida	0,1190	kWh
Emissão	0,0082	kgCO2
Emissão em 26,59m ³ de argamassa	6,8438	kgCO2
Total emitido/m² de construção:	0,0075	kgCO2/m²
Total emitido/m² de parede:	0,0082	kgCO2/m²

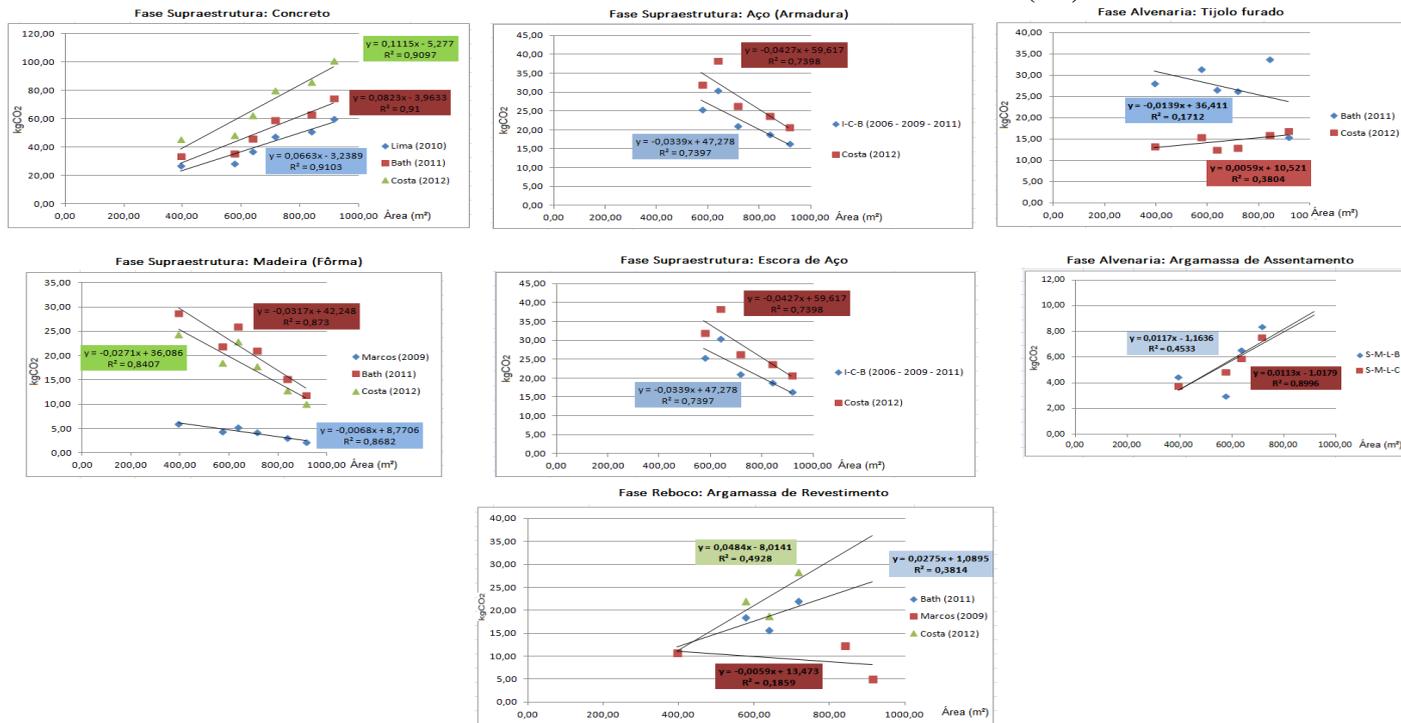
Elevador de Cargas	1,0	un
Tensão	220	V
Potência Elétrica	7,3500	kW
Rendimento do motor	91,00	%
Potência Elétrica Real	8,0769	kW
Deslocamento argamassa	0,420	m ³
Número de subidas e descidas	63,00	
Tempo médio de subida+descida	160	s
Tempo total de subidas+descida	2,8	h
Energia Elétrica Consumida	22,6154	kWh
FE MCT (2013)	0,5932	kgCO2/kWh
Total emitido:	13,4154	kgCO2
Total emitido/m² de construção:	0,0147	kgCO2/m²
Total emitido/m² de parede:	0,0160	kgCO2/m²

APÊNDICE C continuação– Memorial de Cálculo Padrão Fase de Reboco – Exemplo “OBRA B” – Emissão por consumo de combustível para o transporte do material de construção

ARGAMASSA REVESTIMENTO		
Caminhão Modelo 1620 Mercedes Benz Cap. Carga Fechada até 280 sc de cimento de 50kg	1,0	un
Autonomia Rodando	3,0	km/l
Distância Fornecedor e Obra	146,0	km
Número de viagens	1,0	
Número de viagens arredondado	1,0	
Consumo de diesel Caminhão	46,2333	l
Consumo de biodiesel Caminhão	2,4333	l
FE GHG Protocol (2012): Diesel - Móvel	2,6710	kgCO2/l
FE GHG Protocol (2012): Biodiesel - Móvel	2,4991	kgCO2/l
Sub-total diesel emitido por Caminhão Forn. Cimento	123,489	kgCO2
Sub-total biodiesel emitido por Caminhão Forn. Cimento	6,08114	kgCO2
Sub-Total emitido por Caminhão Forn. Cimento	129,57	kgCO2
Total emitido por Caminhão Forn. Cimento	259,141	kgCO2
Total emitido/ m³ de construção	0,2833	kgCO2
Total emitido/m² de parede	0,3089	kgCO2
Total emitido por km rodado	0,8875	kgCO2
Caminhão Basculante 4x2 Mercedes Bens Cap. 6m³ Areia Média Fina	1,0	un
Autonomia Rodando	4,0	km/l
Distância Fornecedor e Obra	21,0	km
Número de viagens	1,00	
Número de viagens arredondado	1,0	
Consumo de diesel Caminhão	4,9875	l
Consumo de biodiesel Caminhão	0,2625	l
FE GHG Protocol (2012): Diesel - Móvel	2,6710	kgCO2/l
FE GHG Protocol (2012): Biodiesel - Móvel	2,4991	kgCO2/l
Sub-total diesel emitido por Caminhão Forn. Areia Média Fina	13,3216	kgCO2
Sub-total biodiesel emitido por Caminhão Forn. Areia Média Fina	0,65601	kgCO2
Sub-Total emitido por Caminhão Forn. Areia Média Fina	13,9776	kgCO2
Total emitido por Caminhão Forn. Areia Média Fina	27,9553	kgCO2
Total emitido/ m³ de construção	0,0611	kgCO2
Total emitido/m² de parede	0,0666	kgCO2
Total emitido por km rodado	0,6656	kgCO2

Caminhão Basculante 4x2 Mercedes Bens Cap. 6m³ Areia Fina	1,0	un
Autonomia Rodando	4,0	km/l
Distância Fornecedor e Obra	21,0	km
Número de viagens	1,00	
Número de viagens arredondado	1,0	
Consumo de diesel Caminhão	4,9875	l
Consumo de biodiesel Caminhão	0,2625	l
FE GHG Protocol (2012): Diesel - Móvel	2,6710	kgCO2/l
FE GHG Protocol (2012): Biodiesel - Móvel	2,4991	kgCO2/l
Sub-total diesel emitido por Caminhão Forn. Areia Fina	13,3216	kgCO2
Sub-total biodiesel emitido por Caminhão Forn. Areia Fina	0,65601	kgCO2
Sub-Total emitido por Caminhão Forn. Areia Fina	13,9776	kgCO2
Total emitido por Caminhão Forn. Areia Fina	27,9553	kgCO2
Total emitido/ m³ de construção	0,0917	kgCO2
Total emitido/m² de parede	0,1000	kgCO2
Total emitido por km rodado	0,6656	kgCO2

APÊNDICE D– Análise de Linearidade dos Fatores de Emissão (FE)



Sigla: S = Silva (2006); M = Marcos (2009); L = Lima (2010); B = Bath (2011); C = Costa (2012); I = IPCC (2006).

APÊNDICE E– Incertezas

INCERTEZAS				
SUPRAESTRUTURA				
	Coleta de Dados	Lançamento de Dados	Conversões	Fator de Emissões
Concreto				
Consumo de Material	1%	1,50%	0,60%	1%
Consumo de Energia Elétrica	0,10%	1,50%	0,10%	0,50%
Consumo Combustível Caminhão Basculante	1%	1,50%		0,50%
Consumo Combustível Caminhão Bomba	1%	1,50%		0,50%
Sub-total	3,10%	6,00%	0,70%	2,50%
Madeira - Forma				
Consumo de Material	1%	1,50%	0,60%	1%
Consumo de Energia Elétrica	0,10%	1,50%	0,10%	0,50%
Consumo Caminhão Transportador	1%	1,50%		0,50%
Sub-total	2,10%	4,50%	0,70%	2,00%
Aço - Armadura				
Consumo de Material	1%	1,50%	0,60%	1%
Consumo de Energia Elétrica 1	0,10%	1,50%	0,10%	0,50%
Consumo de Energia Elétrica 2	0,10%	1,50%	0,10%	0,50%
Consumo Caminhão Transportador	1%	1,50%		0,50%
Sub-total	2,20%	6,00%	0,80%	2,50%
Escora - Aço & Madeira				
Consumo de Material	1%	1,50%	0,60%	1%
Consumo Caminhão Transportador	1%	1,50%	0,10%	0,50%
Sub-total	2,00%	3,00%	0,70%	1,50%
Tabela & EPS				
Consumo de Material	1%	1,50%	0,60%	1%
Consumo de Energia Elétrica	0,10%	1,50%	0,10%	0,50%
Consumo Caminhão Transportador	1%	1,50%		0,50%
Sub-total	2,10%	4,50%	0,70%	2,00%
Vigota "T"				
Consumo de Material	0,20%	1,50%	0,60%	4%
Consumo de Energia Elétrica	0,10%	1,50%	0,10%	0,50%
Consumo Caminhão Transportador	1%	1,50%		0,50%
Sub-total	1,30%	4,50%	0,70%	5,00%
TOTAL	12,80%	28,50%	4,30%	15,50%
	12,80	28,50	4,30	15,50
Incerteza da Fonte: Supraestrutura (+/-)		35,1401	%	

ALVENARIA				
	Coleta de Dados	Lançamento de Dados	Conversões	Fator de Emissões
Bloco Cerâmico (Tijolo Furado)				
Consumo de Material	1%	1,50%	0,60%	1%
Consumo de Energia Elétrica	0,10%	1,50%	0,10%	0,50%
Consumo Caminhão Transportador	1%	1,50%		0,50%
Sub-total	2,10%	3,00%	0,70%	2,00%
Argamassa de Assentamento				
Consumo de Material (03 Componentes)	1%	1,50%	1,80%	3%
Consumo de Energia Elétrica	0,10%	1,50%	0,10%	0,50%
Consumo de Energia Elétrica	0,10%	1,50%	0,10%	0,50%
Consumo de Combustível Transporte Agregado 1	1%	1,50%		0,50%
Consumo de Combustível Transporte Agregado 2	1%	1,50%		0,50%
Consumo de Combustível Transporte Cimento	1%	1,50%		0,50%
Sub-total	4,20%	9,00%	2,00%	5,50%
TOTAL	6,30%	12,00%	2,70%	7,50%
	6,30	12,00	2,70	7,50
Incerteza da Fonte: Alvenaria (+/-)		15,7235	%	
Argamassa de Revestimento				
Consumo de Material (03 Componentes)	1%	1,50%	1,80%	3%
Consumo de Energia Elétrica	0,10%	1,50%	0,10%	0,50%
Consumo de Energia Elétrica	0,10%	1,50%	0,10%	0,50%
Consumo de Combustível Transporte Agregado 1	1%	1,50%		0,50%
Consumo de Combustível Transporte Agregado 2	1%	1,50%		0,50%
Consumo de Combustível Transporte Cimento	1%	1,50%		0,50%
Sub-total	4,20%	9,00%	2,00%	5,50%
TOTAL	4,20%	9,00%	2,00%	5,50%
	4,20	9,00	2,00	5,50
Incerteza da Fonte: Reboco (+/-)		11,5278	%	

