UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

CB3E

centro brasileiro de eficiência
energética em edificações

cb3e.ufsc.br

Avaliação de ciclo de vida de sistemas de aquecimento de água

Marcel Vechi
Enedir Ghisi

Florianópolis, fevereiro de 2015

LabEEE PROCEL EDIFICA Eletrobras FEESC

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
Campus Universitário – Trindade
Florianópolis – SC – CEP 88040-900
Caixa Postal 476

Fundação de Ensino e Engenharia em Santa Catarina
http://www.feesc.org.br

CB3E - Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações
http://www.cb3e.ufsc.br

Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
http://www.eletrobras.gov.br

Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
http://www.eletrobras.gov.br/procel

Convênio ECV DTP 001/2012 Eletrobrás/UFSC

Avaliação de ciclo de vida de sistemas de aquecimento de água para aprimoramento do processo de etiquetagem do RTQ-R

RELATÓRIO INTERNO: RI 02/2015

Elaborado por (equipe):

Coordenação:
Prof. Roberto Lamberts, PhD

NI – Núcleo de Inovações:
Autor:
Marcel Vechi

Orientador:
Prof. Enedir Ghisi, PhD

Florianópolis, 25 de fevereiro de 2015

RESUMO

O conteúdo presente no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) referente a aquecimento de água favorece o uso de aquecedores solares e a gás em detrimento a sistemas puramente elétricos. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de Avaliações de Ciclo de Vida (ACV) de sistemas de aquecimento de água para aprimoramento do processo de etiquetagem do RTQ-R.

O método consiste na aplicação de ACVs para a análise do Potencial de Aquecimento Global de sistemas que usam eletricidade, gás ou energia solar como insumo. A análise foi feita para dois cenários, o de uma residência unifamiliar, e o de um edifício multifamiliar, sendo que o multifamiliar inclui sistemas de aquecimento de acumulação (boilers). Além disso, foram analisadas três cidades distintas dentro do território nacional para comparação de resultados de acordo com as condições climáticas do local. Para obtenção de resultados mais confiáveis e de forma mais ágil, selecionou-se o *software* SimaPro, amplamente utilizado no mercado mundial em se tratando de ACV.

Os resultados mostraram que, para a residência unifamiliar, o chuveiro elétrico é a opção com menor impacto ambiental para todas as cidades, seguida por aquecedor solar com apoio elétrico e, por último, aquecedor de passagem a gás. E para o caso do edifício multifamiliar tem-se o aquecedor solar como alternativa menos impactante, seguido por chuveiro elétrico, boiler elétrico, aquecedor de passagem a gás e, por último, boiler a gás.

Concluiu-se que soluções com eletricidade e energia solar são preferíveis em detrimento a soluções que utilizam gás natural como insumo.

SUMÁRIO

1. Introdução 13

1.1. Justificativas 13

1.2. Objetivos 14

1.2.1. Objetivo Geral 14

1.2.2. Objetivos Específicos 15

1.3. Estrutura do Trabalho 15

2. Revisão bibliográfica 16

2.1. Equipamentos e Insumos para Aquecimento de Água 16

2.1.1. Chuveiro Elétrico 16

2.1.2. Aquecedor Elétrico de Água de Acumulação (Boiler Elétrico) 17

2.1.3. Bomba de Calor 17

2.1.4. Caldeira a óleo 18

2.1.5. Aquecedor a Gás 19

2.1.6. Aquecedor Solar 20

2.2. Etiquetagem de edificações no mundo e aquecimento de água em regulamentos estrangeiros 21

2.3. Sistemas de aquecimento de água no RQT-R 23

2.3.1. Aquecimento solar 24

2.3.2. Aquecimento a gás 26

2.3.3. Bombas de calor 28

2.3.4. Aquecimento elétrico 28

2.3.5. Caldeiras a óleo 28

2.4. Introdução à Avaliação de Ciclo de Vida 28

2.4.1. Objetivo e escopo 29

2.4.2. Inventário 29
2.4.3. Avaliação de impacto 30
2.4.4. Interpretação 30
2.5. Estudos existentes relacionados à Avaliação de Ciclo de Vida de sistemas de aquecimento de água 31
2.6. Participação dos sistemas de aquecimento de água no setor residencial no Brasil e usos finais de água no setor residencial do Brasil 36
2.7. Sistema brasileiro de geração de energia elétrica e usos finais de energia no setor residencial do Brasil 39
2.8. Síntese 44

3. Método 45
3.1. Seleção dos tipos de edifícios residenciais 46
3.2. Definição dos dados de entrada 51
3.3. Avaliação de Ciclo de Vida 52
3.3.1. Objetivo e escopo 52
3.3.2. Inventário 52
3.3.3. Avaliação de impacto 61
3.3.4. Interpretação 61

4. Resultados 62
4.1. Unidade funcional 62
4.2. Dimensionamento de aquecedor solar 62
4.3. Inventário 62
4.4. Avaliação de impacto 76
4.5. Interpretação 83
4.6. Comparação com outros estudos 87

5. Conclusões 89

5.1. Conclusões gerais 89

5.2. Limitações do trabalho 90

5.3. Sugestões para trabalhos futuros 90

Referências Bibliográficas 91

Apêndices 100

Apêndice A – Quantitativos dos projetos da Casa e Prédio Modular Fischer 100

Apêndice B – Diagramas de Fluxo 120

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Equivalente Numérico (EqNum) para cada nível de eficiência (BRASIL, 2012) 24

Tabela 2.2 - Classificação da eficiência de sistemas de aquecimento solar com backup por resistência elétrica (BRASIL, 2012) 25

Tabela 2.3 - Eficiência mínima de aquecedores a gás para classificação nos níveis A e B (BRASIL, 2012) 27

Tabela 2.4 - Eficiência mínima de aquecedores a gás para classificação no nível C (BRASIL, 2012) 27

Tabela 2.5 - Nível de eficiência para bombas de calor (BRASIL, 2012) 28

Tabela 2.6 - Participação dos sistemas de aquecimento de água no setor residencial no Brasil (GHISI et al., 2007) 36

Tabela 2.7 - Usos finais de água (MARINOSKI et al., 2013) 37

Tabela 2.8 - Percentual de participação dos pontos de utilização no consumo de residências na zona oeste de São Paulo (BARRETO, 2008) 38

Tabela 2.9 - Uso final de água em edifício residencial de 3 blocos em Florianópolis (GHISI; FERREIRA, 2007) 38

Tabela 2.10 - Usos finais de água em duas residências em Palhoça (GHISI; OLIVEIRA, 2007) 39

Tabela 2.11 - Sistema brasileiro de geração de energia elétrica (MME, 2014) 39

Tabela 2.12 - Usos finais de energia elétrica no setor residencial do Brasil (GHISI et al., 2007) 40

Tabela 2.13 - Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial do Brasil (ELETROBRÁS, 2007) 41

Tabela 2.14 - Uso final de energia elétrica anual com 90% de confiança (SILVA, 2013) . 41

Tabela 2.15 - Usos finais de energia elétrica residencial no Brasil por Subzonas no verão (FEDRIGO et al., 2009) 42

Tabela 2.16 - Usos finais de energia elétrica residencial no Brasil por Subzonas no inverno (FEDRIGO et al., 2009) 43

Tabela 4.1 - Dimensionamento dos sistemas de aquecimento solar 62

Tabela 4.2 - Inventário do chuveiro elétrico da casa 64

Tabela 4.3 - Inventário do chuveiro elétrico do prédio 65

Tabela 4.4 - Inventário do aquecedor de passagem a gás da casa 66

Tabela 4.5 - Inventário do aquecedor de passagem a gás do prédio 67

Tabela 4.6 - Inventário do aquecedor solar com apoio elétrico da casa 68

Tabela 4.7 - Inventário do aquecedor solar com apoio elétrico do prédio 69

Tabela 4.8 - Demanda de energia e irradiação da casa durante o ano 71

Tabela 4.9 – Contribuição do apoio elétrico para a casa 71

Tabela 4.10 - Demanda de energia e irradiação do prédio durante o ano 73

Tabela 4.11 - Contribuição do apoio elétrico para o prédio 73

Tabela 4.12 - Inventário do boiler elétrico do prédio 74

Tabela 4.13 - Inventário do boiler a gás do prédio 75

Tabela 4.14 - Resumo dos impactos causados pelo chuveiro elétrico para a casa 76

Tabela 4.15 - Resumo dos impactos causados pelo chuveiro elétrico para o prédio 77

Tabela 4.16 - Resumo dos impactos causados pelo aquecedor de passagem a gás para a casa 78

Tabela 4.17 - Resumo dos impactos causados pelo aquecedor de passagem a gás para o prédio 78

Tabela 4.18 - Resumo dos impactos causados pelo aquecedor solar com apoio elétrico para a casa 80

Tabela 4.19 - Resumo dos impactos causados pelo aquecedor solar com apoio elétrico para o prédio 80

Tabela 4.20 - Resumo dos impactos causados pelo boiler elétrico para o prédio 82

Tabela 4.21 - Resumo dos impactos causados pelo boiler a gás para o prédio 82

Tabela A.1 - Quantitativo do projeto elétrico da Casa Modular Fischer com chuveiro elétrico 100

Tabela A.2 - Quantitativo do projeto hidráulico da Casa Modular Fischer com chuveiro elétrico 101

Tabela A.3 - Quantitativo do projeto elétrico da Casa Modular Fischer com aquecedor de passagem a gás 102

Tabela A.4 - Quantitativo do projeto hidráulico da Casa Modular Fischer com aquecedor de passagem a gás 103

Tabela A.5 - Quantitativo do projeto elétrico da Casa Modular Fischer com aquecedor solar com apoio elétrico 104

Tabela A.6 - Quantitativo do projeto hidráulico da Casa Modular Fischer com aquecedor solar com apoio elétrico 106

Tabela A.7 - Quantitativo do projeto elétrico do Prédio Modular Fischer com chuveiro elétrico 106

Tabela A. 8 - Quantitativo do projeto hidráulico do Prédio Modular Fischer com chuveiro elétrico 108

Tabela A.9 - Quantitativo do projeto elétrico do Prédio Modular Fischer com aquecedor de passagem a gás 109

Tabela A.10 - Quantitativo do projeto hidráulico do Prédio Modular Fischer com aquecedor de passagem a gás 111

Tabela A.11 - Quantitativo do projeto elétrico do Prédio Modular Fischer com aquecedor solar com apoio elétrico 112

Tabela A.12 - Quantitativo do projeto hidráulico do Prédio Modular Fischer com aquecedor solar com apoio elétrico 114

Tabela A.13 - Quantitativo do projeto elétrico do Prédio Modular Fischer com boiler elétrico 115

Tabela A.14 - Quantitativo do projeto hidráulico do Prédio Modular Fischer com boiler elétrico 116

Tabela A.15 - Quantitativo do projeto elétrico do Prédio Modular Fischer com boiler a gás 117

Tabela A.16 - Quantitativo do projeto hidráulico do Prédio Modular Fischer com boiler a gás 119

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Diagrama de funcionamento de uma bomba de calor (SAUER, 1983)..... 18

Figura 2.2 - Funcionamento de um aquecedor de passagem (BRASILTEC, 2011) 19

Figura 2.3 - Estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida (ABNT, 2009a) 29

Figura 2.4 - Exemplo de diagrama de fluxo (GRAEDEL; ALLENBY, 1995)..... 30

Figura 2.5 – Impacto de mudanças climáticas das alternativas de material (MARTINOPOULOS et al., 2013)..... 32

Figura 2.6 - Energia empregada nas diferentes fases do ciclo de vida do coletor solar (ARDENTE et al., 2005) 33

Figura 2.7 – Participação dos componentes do aquecedor no impacto ambiental (KORONEOS; NANAKI, 2012)..... 33

Figura 2.8 - Impacto ambiental das diferentes configurações e tipologias de aquecimento de água (TSILINGIRIDIS et al., 2004) 34

Figura 2.9 – Indicadores de efeito de gases causadores de efeito estufa (TABORIANSKI, 2002)..... 35

Figura 2.10 – Tempo de recuperação de energia de acordo com o edifício e o insumo (ZAMBRANA-VASQUEZ et al., 2014)..... 35

Figura 3.1 – Planta baixa da Casa Modular..... 46

Figura 3.2 - Corte AA..... 47

Figura 3.3 - Corte BB 47

Figura 3.4 – Casa Modular Fischer em Brusque/SC 47

Figura 3.5 – Maquete digital do Prédio Modular mostrando as placas solares orientadas para o norte verdadeiro 48

Figura 3.6 – Apartamento padrão do Prédio Modular..... 48

Figura 3.7 – Planta baixa do pavimento tipo do Prédio Modular 49

Figura 3.8 - Corte CC 50

Figura 3.9 - Corte DD 50

Figura 3.10 - Prédio Modular em Brusque/SC 51

Figura 3.11 - Esquema vertical do sistema de aquecimento 53

Figura 3.12 – Chuveiro elétrico selecionado (LORENZETTI, 2014) 54

Figura 3.13 – Aquecedor de passagem a gás selecionado (KOMECO, 2014) 56

Figura 3.14 – Aquecedor solar selecionado (HELIOTEK, 2014) 57

Figura 3.15 - Coletor solar selecionado (HELIOTEK, 2014) 59

Figura 3.16 - Reservatório selecionado (HELIOTEK, 2014) 59

Figura 3.17 – Boiler elétrico selecionado (ASTROSOL, 2014) 60

Figura 3.18 - Boiler a gás selecionado (ASTROSOL, 2014) 60

Figura 4.1 - Demanda e irradiação solar média mensal disponível para a casa em Natal (RADIASOL 2) 70

Figura 4.2 - Demanda e irradiação solar média mensal disponível para a casa em Brasília (RADIASOL 2) 70

Figura 4.3 – Demanda e irradiação solar média mensal disponível para a casa em Florianópolis (RADIASOL 2) 71

Figura 4.4 - Demanda e irradiação solar média mensal disponível para o prédio em Natal (RADIASOL 2) 72

Figura 4.5 - Demanda e irradiação solar média mensal disponível para o prédio em Brasília (RADIASOL 2) 72

Figura 4.6 - Demanda e irradiação solar média mensal disponível para o prédio em Florianópolis (RADIASOL 2) 73

Figura 4.7 - Caracterização do chuveiro elétrico 77

Figura 4.8 - Caracterização do aquecedor de passagem a gás 79

Figura 4.9 - Caracterização do aquecedor solar com apoio elétrico 81

Figura 4.10 - Caracterização do boiler elétrico e a gás para o prédio 83

Figura 4.11 - Resumo geral para a casa em kg CO_2 eq 84

Figura 4.12 - Resumo geral para a casa em % 84

Figura 4.13 - Resumo geral para o prédio em kg CO_2 eq 85

Figura 4.14 - Resumo geral para o prédio em % 85

Figura 4.15 – Energia utilizada por cada sistema na fase de uso da casa em kWh 86

Figura 4.16 - Energia utilizada por cada sistema na fase de uso do prédio em kWh 87

Figura 4.17 – Comparação com Tsilingiridis et al. (2004) 88

Figura 4.18 – Comparação com Taborianski (2002) 88

Figura A.1 - Diagrama de fluxo do chuveiro elétrico da casa em Natal 120

Figura A.2 - Diagrama de fluxo do chuveiro elétrico da casa em Brasília 121

Figura A.3 - Diagrama de fluxo do chuveiro elétrico da casa em Florianópolis 122

Figura A.4 - Diagrama de fluxo do aquecedor de passagem a gás da casa em Natal 123

Figura A.5 - Diagrama de fluxo do aquecedor de passagem a gás da casa em Brasília 124

Figura A.6 - Diagrama de fluxo do aquecedor de passagem a gás da casa em Florianópolis 125

Figura A.7 - Diagrama de fluxo do aquecedor solar com apoio elétrico da casa em Natal 126

Figura A.8 - Diagrama de fluxo do aquecedor solar com apoio elétrico da casa em Brasília 127

Figura A.9 - Diagrama de fluxo do aquecedor solar com apoio elétrico da casa em Florianópolis 128

Figura A.10 - Diagrama de fluxo do chuveiro elétrico do prédio em Natal 129

Figura A.11 - Diagrama de fluxo do chuveiro elétrico do prédio em Brasília 130

Figura A.12 - Diagrama de fluxo do chuveiro elétrico do prédio em Florianópolis 131

Figura A.13 - Diagrama de fluxo do aquecedor de passagem a gás do prédio em Natal .. 132

Figura A.14 - Diagrama de fluxo do aquecedor de passagem a gás do prédio em Brasília 133

Figura A.15 - Diagrama de fluxo do aquecedor de passagem a gás do prédio em Florianópolis 134

Figura A.16 - Diagrama de fluxo do aquecedor solar com apoio elétrico do prédio em Natal 135

Figura A.17 - Diagrama de fluxo do aquecedor solar com apoio elétrico do prédio em Brasília 136

Figura A.18 - Diagrama de fluxo do aquecedor solar com apoio elétrico do prédio em Florianópolis 137

Figura A.19 - Diagrama de fluxo do boiler elétrico do prédio em Natal 138

Figura A.20 - Diagrama de fluxo do boiler elétrico do prédio em Brasília 139

Figura A.21 - Diagrama de fluxo do boiler elétrico do prédio em Florianópolis 140

Figura A.22 - Diagrama de fluxo do boiler a gás do prédio em Natal 141

Figura A.23 - Diagrama de fluxo do boiler a gás do prédio em Brasília 142

Figura A.24 - Diagrama de fluxo do boiler a gás do prédio em Florianópolis 143

1. Introdução

1.1. Justificativas

O conceito de eficiência energética ganhou importância no Brasil depois da crise de eletricidade que o país viveu em 2001. Neste ano, foi publicada a lei que estabeleceu a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, promovendo iniciativas que desenvolvessem a eficiência de construções e equipamentos (BRASIL, 2001). Em 2003, o Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), programa governamental responsável por promover eficiência energética e uso racional de energia no país, lançou o programa Procel Edifica: Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações.

Em uma das vertentes deste programa são determinados os parâmetros que servem para caracterizar níveis de eficiência energética das edificações, criando um novo conceito: a etiquetagem dos edifícios. E foi nessa vertente que surgiu o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), publicado em 2009 (BRASIL, 2009). Países desenvolvidos também vinham criando regulamentos semelhantes a esse para se adequar às novas problemáticas mundiais, como emissão de gás carbônico, regulamentadas pelo Protocolo de Kyoto.

A partir de 2010, o processo de implementação de etiquetagem para edifícios comerciais, de serviços e públicos começou a ser ampliado para o setor residencial, culminando na publicação do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - RTQ-R (LABEEE, 2013). Este regulamento engloba fatores ligados à envoltória e ao aquecimento de água, com requisitos mínimos de cada um deles para se atingir determinado nível de eficiência energética.

Tanto o RTQ-C quanto o RTQ-R foram publicados não como sendo obrigatórios, mas sim para adesão voluntária. Como o regulamento e a etiquetagem de eficiência energética de um edifício são muito novos no Brasil, o mercado da construção civil ainda tem que evoluir e adaptar-se a este conceito. Essa necessidade não permite que as primeiras versões do regulamento sejam complexas. Algumas simplificações e generalizações nos métodos de aplicação devem ser gradativamente aprimoradas nas versões seguintes. Isso não quer dizer que a versão atual é ruim, apenas quer dizer que não abrange tudo o que diz respeito à eficiência energética de um edifício. Muitos sistemas ainda estão sendo tratados como bonificações, sendo opcionais. O aproveitamento de água da chuva no RTQ-R, é um exemplo disso (CARLO; LAMBERTS, 2010).

A tendência é que daqui a alguns anos esses regulamentos se tornem obrigatórios e, assim, todo edifício terá uma Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE (FOSSATI; LAMBERTS, 2010).

No Brasil, a maior parte da energia elétrica consumida nas residências é destinada para o aquecimento de água, mais especificamente para o consumo de água quente nos chuveiros, com participação entre 20 e 40% do consumo, dependendo da região em estudo (ELETROBRAS, 2007). Daí vem a grande influência do aquecimento de água no nível de eficiência energética de uma edificação. Isso pode ser constatado no RTQ-R, e é por isso que este quesito do regulamento deve ser continuamente analisado e melhorado.

Com a crise energética na década de 1970, reforçou-se a ideia de que aquecer água através da eletricidade pode não ser a forma mais eficiente, devido ao gasto excessivo de energia. Como consequência desse fato, vem ocorrendo o desenvolvimento contínuo de tecnologias de aquecimento de água, principalmente através de gás e de energia solar (SANTOS, 2002).

A energia solar é a fonte de energia mais abundante no planeta. Se 0,1% da radiação solar que chega à superfície da Terra fosse convertida em energia elétrica, a 10% de eficiência, seria gerado o quádruplo da atual produção mundial de energia. Contudo, 80% da energia utilizada atualmente tem origem em fontes não renováveis, trazendo à tona uma contradição que talvez não devesse existir (THIRUGNANASAMBANDAM; INIYAN; GOIC, 2010).

Muitos países vêm utilizando energia solar em grande escala com a finalidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis e as emissões de gases de efeito estufa. Mas essa fonte também tem seu lado negativo. Ela não é eficiente 100% do tempo, ou seja, pode não suportar o consumo de água quente de uma residência em determinadas horas do dia ou estações do ano. Por isso, novas tecnologias híbridas para aquecer a água vêm sendo criadas, como o aquecimento solar com sistema de apoio elétrico. Estudos mostraram que a mudança de chuveiro elétrico por este sistema híbrido provocou uma redução média de 70% no consumo de energia elétrica destinado a aquecimento de água, e 36% no consumo total de energia elétrica de uma residência de 63m², com dois dormitórios, sala cozinha e banheiro, em Porto Alegre (ALTOÉ; FILHO; CARLO, 2012).

Os números acima mostram que a problemática do insumo utilizado para aquecimento de água pode afetar, e muito, o nível de eficiência energética de uma edificação. Citou-se apenas o caso “solar *versus* elétrica”, mas ainda existem muitas outras maneiras de aquecer a água, como aquecedor a gás, caldeira, bomba de calor e outros híbridos. Faz-se necessário analisar esses equipamentos para avaliar sua eficiência energética e categorizar corretamente os níveis de etiquetagem de aquecimento de água.

Além disso, no caso acima, apenas a fase de uso do sistema de aquecimento foi levada em conta. E se for analisado todo o ciclo de vida desse sistema (incluindo materiais, manufatura, distribuição e disposição final)? Talvez o aquecimento solar não seja tão eficiente se seu bom desempenho durante a fase de uso for ofuscado pela grande quantidade de energia consumida para produzir componentes do sistema. Uma análise de ciclo de vida de cada sistema vai permitir uma comparação entre as opções em termos de emissões, eficiência energética e economia de insumos.

Os resultados dessa análise servirão de base para uma avaliação crítica dos requisitos mínimos de aquecimento de água do RTQ-R, permitindo o julgamento das informações atuais e a elaboração de sugestões de melhoras.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo realizar avaliações de ciclo de vida de sistemas de aquecimento de água para aprimorar o processo de etiquetagem do RTQ-R.

1.2.2. Objetivos Específicos

Com este trabalho, espera-se atingir os seguintes objetivos específicos:

- Analisar o processo de etiquetagem de edificações no Brasil e no mundo, principalmente no que diz respeito ao aquecimento de água, por meio de revisão de literatura;

- Identificar as formas e equipamentos que estão sendo utilizados para aquecer água nas residências, por meio de revisão de literatura;

- Analisar os impactos ambientais dos sistemas de aquecimento de água elétricos, a gás e solares através de Análise de Ciclo de Vida;

- Indicar qual a fonte de energia para aquecimento de água residencial que causa o menor impacto ambiental ao longo de sua vida útil de acordo com o tipo de edificação e localização geográfica no Brasil.

1.3. Estrutura do Trabalho

Neste primeiro capítulo encontram-se a introdução, os objetivos gerais e específicos do assunto em estudo.

O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre a questão da etiquetagem de edificações em escala global, sobre o RTQ-R, sobre equipamentos e insumos para aquecimento de água existentes no mercado brasileiro e, também, sobre usos finais de energia e água em residências brasileiras. Apresenta também uma explanação sobre Análise de Ciclo de Vida e uma coletânea de estudos realizados sobre o tema.

O método utilizado para atingir os objetivos do trabalho é apresentado no capítulo 3. Todo o método criado para realização da avaliação de ciclo de vida dos sistemas de aquecimento de água, aprimoramento do conteúdo presente RTQ-R, e para a indicação do sistema mais eficiente está contido neste capítulo.

Os resultados obtidos em cada etapa do trabalho são apresentados no capítulo 4, juntamente com os gráficos e tabelas que permitam o melhor entendimento do conteúdo.

O quinto capítulo contém as conclusões, limitações do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Equipamentos e Insumos para Aquecimento de Água

Os sistemas de aquecimento de água permitem que a população usufrua do conforto promovido por um banho quente. Os principais sistemas para aquecimento de água existentes no Brasil são os elétricos, a gás e solares. Todos eles exigem uma fonte energética para poder operar. Os aquecedores elétricos utilizam energia elétrica fornecida por usinas termoelétricas, nucleares e hidrelétricas, com destaque para a última no Brasil. Os aquecedores a gás precisam de combustíveis fósseis, os quais produzem diversos poluentes causadores do efeito estufa. E os aquecedores solares convertem a energia do sol em calor, entretanto fazem uso de recursos não renováveis no processo de sua fabricação e precisam de energia elétrica como complemento (TABORIANSKI, 2002).

Abaixo serão caracterizados os equipamentos de aquecimento de água existentes no mercado brasileiro, para uma melhor visualização dos impactos ambientais que os mesmos podem causar.

2.1.1. Chuveiro Elétrico

O chuveiro elétrico é uma tecnologia desenvolvida no Brasil, no fim dos anos 40, a fim de promover o conforto pessoal durante o banho. Pelo seu baixo custo, aliado a facilidade de instalação e baixa manutenção, sua utilização se difundiu muito nas residências brasileiras (PINHEIRO, 2012).

Funciona como um aquecedor de passagem de alta potência, transformando energia elétrica em calor através de uma resistência elétrica pelo efeito Joule. Permite o aquecimento de até 15°C, produzindo água entre 30 e 40°C. Devido a sua alta potência, é responsável por uma grande parcela do consumo de energia elétrica de uma residência, e por isso seu uso intensivo é apontado como um dos principais responsáveis pelo consumo excessivo de energia residencial nas horas de pico (PINHEIRO, 2012).

Seu funcionamento é simples: a água é liberada pelo registro e entra na caixa do chuveiro. Como a água sai com uma vazão menor, parte dela se acumula dentro da caixa do chuveiro. A água acumulada empurra o diafragma, peça que serve de apoio para alguns pontos de contato elétrico. Quando o diafragma sobe, esses pontos tocam nos contatos da parte superior do chuveiro, que é conectada à rede de energia, ligando o circuito elétrico. A corrente elétrica começa a percorrer uma resistência, peça metálica que esquenta quando a corrente passa por ela. Por fim, em contato com a resistência superaquecida, a água fria que se acumula no chuveiro é aquecida (SANTOS, 2013).

Como vantagens pode-se citar o baixo custo, alto rendimento térmico, consumo sob demanda, fácil instalação e fácil manutenção. E como desvantagens, o risco de choque, a baixa vazão, a necessidade de um circuito elétrico específico e alto consumo de energia, trazendo custos significativos com eletricidade (PINHEIRO, 2012; IBRAHIM et al., 2014).

2.1.2. Aquecedor Elétrico de Água de Acumulação (Boiler Elétrico)

O aquecedor elétrico de água de acumulação, ou boiler, é um aquecedor dotado de reservatório, onde a água é aquecida por resistências elétricas, de maneira semelhante ao chuveiro.

Possui rendimento térmico de cerca de 80%, devido a perdas térmicas do reservatório. Seu termostato é ajustado entre 55 e 65°C, para acumular maior calor e evitar o desenvolvimento da legionella, bactéria causadora de doenças humanas potencialmente perigosas (PINHEIRO, 2012).

Este tipo de aquecimento permite o controle da vazão independente da temperatura, proporcionando um banho mais confortável. Além disso, existe a possibilidade do uso de temporizadores para operação fora do horário de pico. Outra vantagem é o uso simultâneo em vários pontos.

Como desvantagens pode-se citar a necessidade de uma rede de tubulação de água quente, uma vez que o aquecedor é instalado afastado dos pontos de consumo; grande consumo de eletricidade; alto custo do equipamento; risco de choque elétrico; e risco de desenvolvimento de legionella (PINHEIRO, 2012).

2.1.3. Bomba de Calor

O princípio das bombas de calor vai contra a segunda lei da termodinâmica, uma vez que essas concentram o calor de um ambiente, com menor temperatura, transmitindo-o para um de maior. Nas bombas de calor utilizadas para o aquecimento de água o calor é concentrado e transferido para a água (HEPBASLI; KALINCI, 2009).

Como principal vantagem pode-se citar o alto coeficiente de performance (COP), que consiste na razão entre o calor transferido e o trabalho despendido para tal. Geralmente, as bombas de calor para o aquecimento de água têm COP de 1,5 a 3,0 W/W (HEPBASLI; KALINCI, 2009).

Para entender o funcionamento de uma bomba de calor é necessário entender alguns conceitos da termofísica. Define-se como entropia o grau de desordem das moléculas de uma substância, ou seja a velocidade dessas moléculas. Portanto, uma substância com maior entropia possui suas moléculas em maior grau de desordem e consequentemente maior energia. Para mudar o estado de uma substância, é necessário alterar sua entropia, e para isso é preciso retirar ou fornecer grande quantidade de energia à substância. Assim, para transformar uma substância líquida em gasosa é necessário fornecer energia através, por exemplo, do aumento de sua temperatura (NUSSENZVEIG, 1981).

Mas não é só pela temperatura que essa transformação é possível. A pressão também influencia. Em baixas pressões, por exemplo, as moléculas estão submetidas a uma menor força que as comprime e, assim, basta um pequeno aumento de temperatura para que as partículas se afastem e adquiram maior velocidade. Como consequência deste fenômeno a entropia total da substância aumentará e uma parcela menor de energia foi utilizada para tal. Então, se um fluido em alta pressão é submetido a uma queda brusca de pressão, ele sairá de um estado com menor entropia (líquido) para um de maior (gás), retirando, para isso, energia do meio ambiente. Esse processo ocorre na válvula de expansão da bomba de

calor. No entanto, se um gás em baixa pressão é submetido a um aumento brusco de pressão, ele mudará para o estado líquido, liberando energia para o ambiente em forma de calor. Isto ocorre no compressor da bomba de calor, e a energia é transmitida para o fluido que se deseja aquecer, no caso água (SAUER, 1983).

A Figura 2.1 apresenta um diagrama que resume o ciclo de funcionamento de uma bomba de calor ar-água. O diagrama consiste de um ciclo fechado de tubulações preenchido por um fluido de trabalho (meio pelo qual o calor é concentrado e transferido).

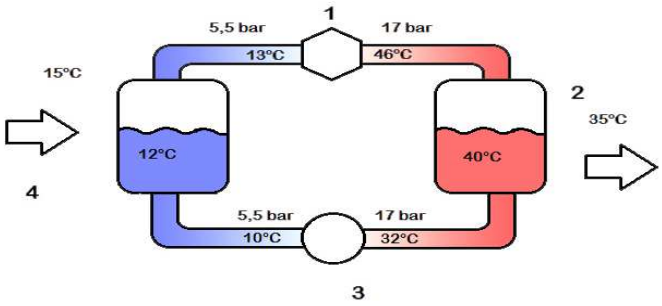

Figura 2.1 - Diagrama de funcionamento de uma bomba de calor (SAUER, 1983)

No compressor (1) o fluido de trabalho é comprimido, causando o aumento da sua temperatura. Após passar pelo compressor o fluido de trabalho, a uma alta temperatura, vai para o condensador (2) onde troca calor com a água no reservatório a ponto de condensar-se. Em seguida, o fluido no estado líquido e com menor temperatura, vai para a válvula de expansão (3) onde sofre uma queda brusca na pressão, diminuindo ainda mais sua temperatura. No evaporador (4) o fluido de trabalho absorve o calor do ar ambiente e evapora. O fluido na forma gasosa volta ao compressor e inicia-se o ciclo novamente (SAUER, 1983).

Como desvantagens, pode-se citar o alto custo de aquisição e instalação, e a constante necessidade de sua fonte de calor, neste caso o ar, estar a uma temperatura mais elevada que o fluido no evaporador. E como vantagens, o menor consumo de energia elétrica (diminuindo consumo nos horários de pico), alta vazão (proporcionando conforto) e o alto COP (PINHEIRO, 2012).

Um estudo com simulação computacional de residências de interesse social em Florianópolis demonstram que a utilização de bomba de calor permite redução de até 57% de energia consumida, e 85% da potência utilizada em relação ao chuveiro elétrico (BALDISSERA, 2012).

2.1.4. Caldeira a óleo

As caldeiras a óleo são muito pouco usadas atualmente por serem muito poluentes e caras (tanto em aquisição como em operação).

Basicamente o óleo é enviado através de um tanque pressurizado, vai até o queimador (recipiente acoplado a caldeira), onde se mistura com o ar e é inflamado para criar o calor necessário para aquecer a água.

2.1.5. Aquecedor a Gás

O funcionamento básico de um aquecedor a gás é simples: a água fria chega até o aparelho e entra em contato com uma chama produzida e mantida acesa por gás natural ou gás liquefeito de petróleo. Assim, a água é aquecida e em seguida é distribuída para os pontos de consumo desejados. O aquecedor pode ser de passagem ou de acumulação, a seguir explicados.

No aquecedor de passagem, o acionamento do aparelho ocorre quando um ponto de consumo de água é aberto. A água entra no aquecedor e movimenta uma peça que libera o gás. Simultaneamente, uma unidade eletrônica recebe um comando para produzir uma faísca, acendendo a chama. A água fria percorre uma serpentina que é aquecida pela chama. Assim, a água é aquecida enquanto passa pelo aparelho. A Figura 2.2 ilustra o funcionamento desse tipo de aquecedor (BRASILTEC, 2011).

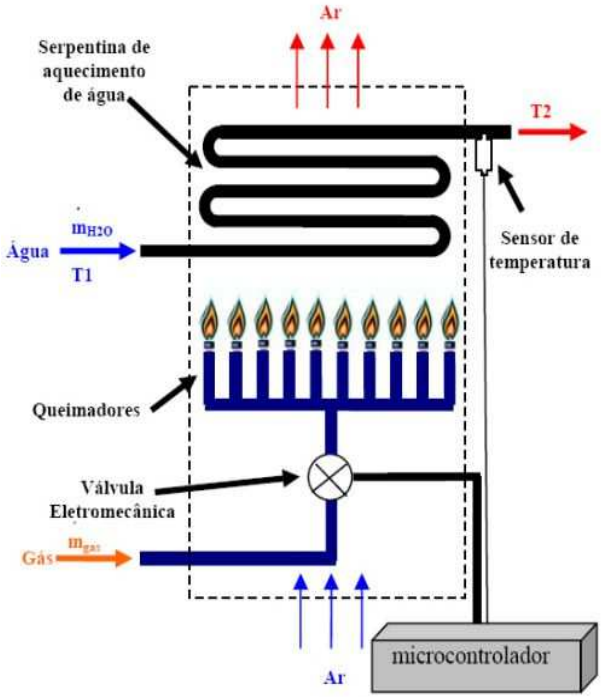

Figura 2.2 - Funcionamento de um aquecedor de passagem (BRASILTEC, 2011)

Os aparelhos por acumulação necessitam de um reservatório para acumular a água. Este reservatório é um cilindro que armazena a água e é aquecido pela chama. Um termostato é responsável pelo controle do aquecimento da água, mantendo a temperatura dentro dos limites. A perda do calor é minimizada por um revestimento térmico. A quantidade de água aquecida é limitada, uma vez que depende da capacidade do reservatório. Este tipo de aquecimento permite que vários pontos sejam acionados ao mesmo tempo e trabalha com uma coluna d'água menor comparado com o de passagem, mas em compensação, ocupa maior espaço físico e consome mais gás (BRASILTEC, 2011).

Além de ser uma fonte de energia mais barata, geralmente os aquecedores a gás trabalham com pressões e vazões maiores que os aparelhos elétricos, proporcionando um banho mais confortável. Porém, eles têm um alto custo de aquisição e de instalação, requerem tubulação específica para gás, demoram mais até aquecer a água, além de ter o risco do vazamento de gás, que pode ser muito perigoso (CENTER POINT, 2008; IBRAHIM, 2014).

2.1.6. Aquecedor Solar

A localização do Brasil em região tropical dá a ele um grande potencial na utilização de energia solar. O país é anualmente contemplado com 6,2 x 10^{22} Joules de energia proveniente do sol, o que significa 37,8 mil vezes o consumo de energia elétrica da população brasileira em 2010 (MME, 2014). A maneira mais comum de se utilizar a energia do sol diretamente na construção civil é o aquecimento solar de água (ANEEL, 2008).

Existem diversos tipos de aquecedores no mercado, mas o de uso mais difundido é o aquecedor solar de circulação por termossifão de placa e tubo. A denominação de aquecedor de termossifão se dá pela forma de movimentação do fluido de trabalho: a diferença de densidade do fluido de trabalho, quando aquecido, faz ele se mover entre o reservatório e o coletor (DASOL, 2012). A designação "placa e tubo" vem da maneira como os coletores são construídos. Eles são constituídos de tubos que funcionam como serpentina, por onde o fluido de trabalho irá passar, e aletas fixadas aos tubos, que tem como função o aumento da área de absorção de energia solar. A estrutura básica de um aquecedor solar é: um coletor solar, um reservatório e tubulações.

O principal componente dos aquecedores solares, responsável pela conversão de energia (radiação) solar em energia térmica, é o coletor solar. Este coletor é constituído pela placa absorvedora e gabinete. A placa absorvedora é formada por placas e tubos (de material bom condutor de calor) responsáveis pela recepção, conversão e transferência da energia provinda do sol para o fluido de trabalho. E o gabinete consiste em uma caixa vedada com cobertura de um material transparente, permitindo a passagem de radiação solar. As funções do gabinete são garantir que as variações de temperatura ambiente exerçam baixa influência sobre a conversão de energia solar, e proteger o aquecedor solar das intempéries, aumentando sua vida útil. Essas funções só são garantidas com um bom isolamento (DASOL, 2012).

Após receber a energia térmica capturada no coletor, o fluido de trabalho deve ser armazenado em um reservatório, formado por basicamente três componentes: o cilindro externo, o interno e o isolante. O cilindro externo é responsável pela resistência às intempéries, o cilindro interno armazena o fluido de trabalho aquecido, e o isolante é o material entre os cilindros que dificulta a troca de calor entre o fluido e o ambiente.

O funcionamento é simples, tornando o sistema prático e eficiente. O fluido de trabalho é aquecido no coletor pela exposição à radiação solar e sua circulação é garantida por termossifão, ou seja, pela circulação devido às diferenças de densidade entre o fluido aquecido no coletor e o fluido no reservatório.

Em um estudo em habitações de interesse social, realizado por Naspolini et al. (2008) em Florianópolis, Santa Catarina, foram avaliados o papel e os benefícios do aquecimento

solar de água em comparação com o chuveiro elétrico. A redução média no consumo das residências com aquecedor solar para os meses analisados foi de 37,6%. Os autores defendem que apesar da redução no consumo não ser tão significativa, a utilização de aquecedores solares de água diminui a carga no horário de pico, descartando a necessidade de se ter um sistema nacional de transmissão de energia superdimensionado.

2.2. Etiquetagem de edificações no mundo e aquecimento de água em regulamentos estrangeiros

A certificação energética de edifícios surgiu no começo da década de 1990 como um método para melhorar a eficiência energética e diminuir o consumo de energia. A partir de então ela tornou-se uma tendência em todo mundo. Hoje, esta certificação é adotada por diversos países e está em desenvolvimento em outros (PEREZ-LOMBARD et al., 2009).

A *Energy Performance Building Directive* (EPBD 2002/91/EC) introduziu a certificação energética obrigatória em edifícios da União Europeia a partir de 2006 e assumiu um papel importante no monitoramento do consumo energético no continente. Contudo, uma análise conduzida por Andaloro et al. (2010) mostrou que a maioria dos países ainda está na metade do caminho em busca deste objetivo.

Em Portugal, um dos países que atendeu a EPBD, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) determinam os níveis de desempenho de edifícios (PORTUGAL, 2006a).

Por influência da EPBD, três normas internacionais foram criadas para nortear a criação e/ou aplicação de métodos de avaliação de eficiência energética de edifícios. São elas: ISO 16343:2012, *Energy performance of buildings — Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings;* ISO/TR 16344:2013, *Energy performance of buildings — Common terms, definitions and symbols for the overall energy performance rating and certification;* e ISO 16346:2013, *Energy performance of buildings — Assessment of the overall energy performance.*

Seguindo a tendência de padronização entre seus países (como a moeda Euro), existem estudos relacionados a *European Eco-Label*, uma etiqueta que visa certificar uniformemente edifícios de toda a União Europeia quanto à sua eficiência energética (FRANZITTA et al., 2011).

Bagheri et al. (2013) conduziram um estudo para desenvolver a etiquetagem de desempenho de energia em edifícios comerciais no Irã. Para tal, foi criado um software de simulação de desempenho energético chamado Behsazan. A validade dos dados extraídos desta ferramenta foi comprovada em edifícios exemplos de todas as quatro zonas climáticas do país. Assim, centenas de prédios puderam ser avaliados com o auxílio do software, e um modelo de etiquetagem foi desenvolvido e autorizado para implementação como uma norma nacional.

Nos Estados Unidos da América, a prática mais comum ainda é a adoção de um sistema de certificação de edifício sustentáveis chamado LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*). Apesar de seguir os padrões das normas americanas ASHRAE, o LEED não tem poder legal. Ele é controlado pelo *Green Building Council* e não pelo

Estado. Alguns estudos vêm sendo realizados para o desenvolvimento de normas de eficiência e houve grande adaptação da indústria da construção aos padrões de eficiência energética (LEED, 2014).

Existem algumas outras ferramentas não controladas pelo governo que fazem avaliação de edifícios sustentáveis. No Brasil a mais utilizada é o AQUA, e na Europa (principalmente no Reino Unido) é o BREEAM (*BRE Environmental Asssessment Method*). Todas essas ferramentas são similares entre si, com algumas diferenças singulares entre os indicadores avaliados em cada uma. O resultado da análise é uma avaliação do edifício sem poder legal, mas com bastante credibilidade e grande poder de marketing (BRE, 2014).

Yang et al. (2010) criaram um modelo para identificar e dar peso a indicadores que auxiliam a avaliação da eficiência energética de edifícios residenciais na China. Tal modelo se baseia em uma vasta revisão bibliográfica aliada a um questionário aplicado a especialistas. As maiores dificuldades identificadas pelos pesquisadores para atingir esse objetivo final estão relacionadas a diversidade de climas e diferentes usos dos edifícios presente no território Chinês.

Na Austrália, a avaliação dos edifícios é feita com diferentes parâmetros para cada região ou cidade, mas todos com base no *Building Code of Australia* (ABCB, 2004). O regulamento brasileiro também faz algumas considerações em relação às diferentes zonas climáticas, mas ainda assim, a validade de muitas partes dele é questionável por não levar em conta as particularidades de cada zona bioclimática.

A etiquetagem de eficiência energética engloba alguns aspectos da edificação, de acordo com os regulamentos vigentes em cada país. O aquecimento de água é um item que é encontrado em quase todos eles, de diferentes formas e pesos em relação à classificação final.

Um estudo de análise comparativa de políticas de eficiência energética em novas edificações realizado pela *Global Building Performance Network* (GBPN), levou em consideração níveis mínimos de aquecimento de água para avaliar os melhores regulamentos existente no mundo (GBPN, 2013).

Na grande maioria dos países da Europa, como Áustria, França, Itália, República Tcheca, Reino Unido, etc., a parte do aquecimento de água se restringe à inspeção do aparelho utilizado para este fim. O aparelho é inspecionado para verificar como está seu funcionamento e manutenção, avaliando dessa forma a eficiência energética do mesmo, de acordo com parâmetros pré-estabelecidos em norma (EPBD, 2010).

Existe uma tendência de priorizar o uso de energia solar para aquecimento de água nos regulamentos. O regulamento espanhol é um exemplo típico. Ele determina uma contribuição solar mínima para aquecimento de água em residências. O dimensionamento é explicado no regulamento e é diferente para cada zona bioclimática do país (ESPANHA, 2009).

No regulamento português, existe um limite máximo para as necessidades de energia para preparação de água quente sanitária (em kWh/m².ano). O método para se chegar ao valor que deve ser comparado a esse limite é o seguinte: o valor da energia útil despendida com sistemas convencionais é dividido pela sua respectiva eficiência, do resultado subtrai-se a

contribuição de sistemas de coletores solares ou qualquer forma de energia renovável, e o resultado dessa subtração é dividido pela área útil do pavimento (PORTUGAL, 2006b).

BREEAM e LEED também levam em consideração o aquecimento de água em alguns pontos do seu processo de análise da sustentabilidade de um edifício.

2.3. Sistemas de aquecimento de água no RQT-R

Toda essa seção é baseada no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) e, portanto, a fonte não será mais citada (BRASIL, 2012).

O RTQ-R especifica requisitos técnicos, bem como os métodos para classificação de edificações residenciais quanto à eficiência energética, criando condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares. Para essa classificação são levados em conta aspectos ligados principalmente à envoltória e à água quente. Outros sistemas são tidos como bonificações (acréscimos opcionais menos importantes na classificação).

Cada edificação avaliada recebe pontuações (por fórmulas) para envoltória e aquecimento de água, sendo que essas pontuações equivalem a uma classificação que varia de E a A, em ordem crescente de melhor eficiência. Essas pontuações, somadas às bonificações, levam a uma pontuação final, que terá sua equivalência de E a A, da mesma forma, para a edificação como um todo.

Existem requisitos mínimos para cada aspecto, os quais devem ser respeitados visando sempre um melhor nível de eficiência.

A seção 3.2 do RTQ-R descreve os critérios para avaliação da eficiência de sistemas de aquecimento de água, os quais devem contar com alguns pré-requisitos:

- As tubulações para água quente devem ser adequadas a sua função e devem estar de acordo com as normas técnicas.

- Reservatórios de água quente (exceto de sistemas de aquecimento solar) devem apresentar resistência térmica mínima de 2,20 (m^2K)/W.

- Para os níveis A e B, as tubulações para água quente devem possuir isolamento térmico com espessura mínima definida no regulamento, em função da sua condutividade térmica e diâmetro.

O sistema de aquecimento de água tem sua eficiência estabelecida através do equivalente numérico obtido na Tabela 2.1, utilizando resultados específicos encontrados em cada tipo de sistema abaixo explanados.

É atribuído baixo nível de eficiência às unidades que não possuem sistema de aquecimento de água, pois o usuário fica restrito ao chuveiro elétrico caso queira aquecer a água para o banho. Nas regiões Norte e Nordeste, por ser mais quente, caso não exista sistema de aquecimento de água instalado, adota-se equivalente numérico de aquecimento de água igual a 2, ou seja, nível D. Nas demais regiões, não é aceitável a ausência de sistema de

aquecimento de água instalado e, portanto, deve-se adotar equivalente numérico de aquecimento de água igual a 1, ou seja, nível E, menor nível possível.

Tabela 2.1 - Equivalente Numérico (EqNum) para cada nível de eficiência (BRASIL, 2012)

Nível de Eficiência	EqNum
A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Para sistemas híbridos, o nível de eficiência de aquecimento de água em uma unidade habitacional é:

- o maior dos equivalentes numéricos obtidos se a combinação for de aquecimento solar com aquecimento a gás ou bomba de calor;

- o equivalente numérico do sistema de aquecimento solar, se a combinação for com aquecimento elétrico, desde que a fração solar mínima seja de 70%.

Para o resto dos casos de sistemas mistos, o nível de eficiência é determinado pela combinação das porcentagens de demanda de aquecimento de água de cada sistema multiplicado pelo seu respectivo equivalente numérico.

Para adaptar a avaliação de acordo com a região geográfica, o regulamento impõe que o EqNum para aquecimento de água deve ser multiplicado por (1 –A), sendo A um coeficiente de ajuste de região. Para a região norte A é igual a 0,95, nordeste 0,9, centro-oeste sudeste e sul 0,65.

2.3.1. Aquecimento solar

Os pré-requisitos exigidos pelo RTQ-R para sistema de aquecimento solar são:

- A orientação e ângulo de inclinação dos coletores solares devem estar de acordo com as especificações, manual de instalação e projeto;

- Para atingir os níveis A ou B os coletores solares devem ter ENCE A ou B ou Selo Procel;

- O Selo Procel também é exigido para os reservatórios, sendo que aqueles com volumes superiores aos etiquetados pelo Inmetro devem ter desempenho igual ou superior ao reservatório com maior volume etiquetado pelo Inmetro. Em todos os casos, o reservatório

de água quente deve ter isolamento térmico e capacidade de armazenamento mínima adequados;

- Os coletores e os reservatórios devem atender às normas técnicas brasileiras;

- Deve-se dar preferência a instaladores do Programa de Qualificação de Fornecedores de Sistemas de Aquecimento Solar - QUALISOL BRASIL.

O dimensionamento do sistema de aquecimento solar para a edificação sob avaliação deve estar de acordo com a metodologia proposta no RTQ-R, e a classificação da eficiência do sistema de aquecimento solar é obtida na Tabela 2.2, de acordo com a fração solar anual obtida.

Tabela 2.2 - Classificação da eficiência de sistemas de aquecimento solar com backup por resistência elétrica (BRASIL, 2012)

Dimensionamento	Classificação
Equivalente a fração solar anual mínima de 70%	A
Equivalente a fração solar anual mínima entre 60 e 69%	B
Equivalente a fração solar anual mínima entre 50 e 59%	C
Equivalente a fração solar anual menor que 50%	D

Sistemas com volume de armazenamento entre 40 e 50 litros por metro quadrado de coletor, ou superior a 150 litros/m² de coletor, atingirão no máximo nível D. E sistemas com volume de armazenamento inferior a 40 litros/m² terão nível E.

O dimensionamento é feito por meio de equações e é preciso calcular:

- volume do reservatório de armazenamento;

- demanda de energia útil considerando os valores de radiação solar mês a mês;

- radiação solar mensal incidente sobre a superfície dos coletores;

- energia solar mensal absorvida pelos coletores;

- energia solar mensal não aproveitada pelos coletores;

- parâmetros e fatores intermediários;

- fração solar mensal;

- energia útil mensal coletada;

- produção energética da instalação por meio da determinação da fração solar anual (ou porcentagem da demanda energética que é coberta pela instalação solar).

A fração solar anual é dada em função da área coletora adotada. Caso essa fração não seja satisfatória, os cálculos devem ser refeitos, alterando-se a superfície de captação até que sejam atendidas as condições pré-estabelecidas.

2.3.2. Aquecimento a gás

Os pré-requisitos exigidos pelo RTQ-R para sistema de aquecimento a gás são:

- Para atingir o nível A, os aquecedores a gás devem possuir ENCE A ou B. Quando utilizado reservatório de água quente, este deve possuir isolamento térmico e capacidade de armazenamento adequado ao dimensionamento proposto pelo RTQ-R.

- Os aquecedores a gás e reservatórios térmicos devem respeitar as normas técnicas brasileiras e, na ausência destas, devem ser atendidas as normas internacionais.

- A instalação dos aquecedores deve seguir a NBR 13103, e deve-se escolher um local protegido permanentemente contra intempéries e com ventilação adequada para a instalação, não prejudicando a eficiência dos mesmos.

- Deve-se dar preferência a instaladores que fazem parte do Programa de Qualificação de Fornecedores de Instalações Internas de Gases Combustíveis e Aparelhos a Gás – QUALINSTAL GÁS.

- Para obtenção dos níveis A ou B, a potência do sistema de aquecimento a gás deve estar dentro de uma variação de 20% do dimensionamento realizado conforme a metodologia do RTQ-R.

No dimensionamento de um aquecedor de gás do tipo instantâneo, a potência útil do aquecedor é determinada em função da vazão máxima demandada simultaneamente e das temperaturas de consumo e de água fria no local da instalação.

E no dimensionamento de um sistema de acumulação individual, calcula-se o volume de pico, e, depois, o volume mínimo de água quente armazenada. Pela subtração desses dois chega-se ao volume necessário para a recuperação do sistema na hora mais crítica. Com esse dado e o das temperaturas de armazenamento e de água fria no local da instalação é possível calcular a potência útil do aquecedor.

O dimensionamento de central coletiva a gás é feito da mesma maneira que o de acumulação individual, mas os volumes gerados são significativamente maiores.

Deve-se utilizar um aquecedor a gás disponível no mercado e com potência igual ou superior à calculada.

Adota-se classificação da ENCE obtida na Tabela do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), considerando a última versão publicada na página do Inmetro e identifica-se o equivalente numérico na Tabela 2.1.

Os aquecedores a gás que não possuírem ENCE e não estiverem de acordo com as normas técnicas brasileiras devem ser classificados de acordo com as Tabelas 2.3 e 2.4. Se o sistema não se estiver presente nas tabelas, será atribuído nível D.

Tabela 2.3 - Eficiência mínima de aquecedores a gás para classificação nos níveis A e B (BRASIL, 2012)

Tipo de equipamento	Capacidade (kW)	Subcategoria	Eficiência mínima (W)	Procedimento de teste
Aquecedor de acumulação	≤ 22,98	≥ 75,5 (litros)	0,62 - 0,0019.V.EF	DOE 10 CFR Part 430
	> 22,98	< 309,75 W/l	0,8.Et(Q/800 + 110.$V^{1/2}$).SL	ANSI Z21.10.3
Aquecedor instantâneo	> 14,66 e < 58,62	≥ 309,75 W/l e < 7,57 (litros)	0,62 - 0,0019.V.EF	DOE 10 CFR Part 430
	≥ 58,62	≥ 309,75 W/l e < 37,85 (litros)	0,8.Et	ANSI Z21.10.3
	≥ 58,62	≥ 309,75 W/l e ≥ 37,85 (litros)	0,8.Et(Q/800 + 110.$V^{1/2}$).SL	ANSI Z21.10.3

Nota: V: volume (litros); EF: Fator energético; Et: Eficiência térmica; Q: potência nominal de entrada (W); SL: perdas em standby (W) considerando uma diferença de temperatura de 38,9°C entre a água quente acumulada e as condições térmicas do ambiente interno

Tabela 2.4 - Eficiência mínima de aquecedores a gás para classificação no nível C (BRASIL, 2012)

Tipo de equipamento	Capacidade (kW)	Subcategoria	Eficiência mínima (W)	Procedimento de teste
Aquecedor de acumulação	≤ 22,98	≥ 75,7 (litros)	0,62 - 0,0072.V.EF	DOE 10 CFR Part 430
	> 22,98 e ≤ 45,43	< 309,75 W/l	0,78.Et(8,29.V + 192.SL)	ANSI Z21.10.3
	>45,43	< 309,75 W/l	0,78.Et(8,29.V + 160.SL)	ANSI Z21.10.3
Aquecedor instantâneo	> 14,66 e < 58,62	≥ 309,75 W/l e < 7,57 (litros)	0,62 - 0,0072.V.EF	DOE 10 CFR Part 430
	≥ 58,62	≥ 309,75 W/l e < 37,85 (litros)	0,8.Et	ANSI Z21.10.3
	≥ 58,62	≥ 309,75 W/l e ≥ 37,85 (litros)	0,77.Et(14,67.V + 113.SL)	ANSI Z21.10.3

Nota: V: volume (litros); EF: Fator energético; Et: Eficiência térmica; Q: potência nominal de entrada (W); SL: perdas em standby (W) considerando uma diferença de temperatura de 38,9°C entre a água quente acumulada e as condições térmicas do ambiente interno

2.3.3. Bombas de calor

A eficiência energética dos sistemas de aquecimento de água utilizando bombas de calor é baseada no coeficiente de performance (COP), medido de acordo com as normas ASHRAE *Standard* 146, ASHRAE 13256 ou AHRI 1160. O nível de eficiência é obtido através da Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Nível de eficiência para bombas de calor (BRASIL, 2012)

COP (W/W)	Nível de Eficiência
COP ≥ 3	A
2 ≤ COP <3	B
COP < 2	C

2.3.4. Aquecimento elétrico

Aquecedores elétricos por acumulação (*boiler*) devem possuir ENCE, respeitar as normas técnicas brasileiras, e possuir *timer* para evitar seu uso no horário de ponta. Sua classificação é a seguinte:

- D, para *boilers* com classificação A ou B no PBE;

- E, para outros.

E os aquecedores elétricos de passagem (chuveiros elétricos) devem fazer parte do PBE e têm sua eficiência dada em função da potência do aparelho:

- D, para aparelhos com potência P ≤ 4.600 W;

- E, para aparelhos com potência P > 4.600 W.

A classificação de equipamentos com potência regulável será pela maior potência, e para equipamentos não classificados pelo Inmetro será atribuído nível E.

2.3.5. Caldeiras a óleo

Receberão classificação nível E todas as caldeiras que utilizam como combustíveis fluidos líquidos como óleo diesel ou outros derivados de petróleo.

2.4. Introdução à Avaliação de Ciclo de Vida

De acordo com a ABNT NBR ISO 14040:2009, Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura, e ABNT NBR ISO 14044:2009, Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações, Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é a compilação e avaliação das entradas/saídas e potenciais impactos ambientais de um produto/processo durante o seu ciclo de vida, desde a produção de matérias-primas até a

disposição final. Tal procedimento pode ser aplicado a qualquer produto/processo, com o objetivo variando entre a análise da contribuição de cada fase no impacto geral, que permite a identificação de oportunidade de redução de impactos, e a comparação entre diferentes produtos, permitindo a seleção da opção com menos impacto em determinada categoria.

A ACV é divida em quatro etapas principais, como mostra a Figura 2.3.

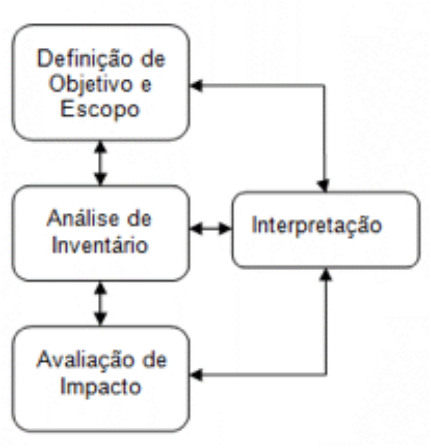

Figura 2.3 - Estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida (ABNT, 2009a)

2.4.1. Objetivo e escopo

O objetivo pode ser visto como uma descrição geral da avaliação, enquanto o escopo a detalha mais especificamente. Juntos eles definem a metodologia e limitações de trabalho.

2.4.2. Inventário

Trata-se de identificar os processos e suas interconexões dentro do limite do sistema, resultando em um diagrama de fluxo, como o representado na Figura 2.4. Vale ressaltar que cada processo pode ser dividido em sub-processos mais específicos até o limite determinado (BSRIA, 2013).

Com o diagrama de fluxo estruturado, dá-se início a coleta de dados que definirão os sistemas. Dados primários podem ser fornecidos por fabricantes, encontrados em literatura, ou desenvolvidos com informações disponíveis ou suposições. Quando isso não for possível, viável ou suficiente, inventários de ciclo de vida existentes em todo mundo podem ser selecionados como dados secundários. Banco de dados muito bem revisados são disponibilizados pelo próprio software usado para a ACV. Uma vez que a coleta de dados primários é a parte da ACV que requer mais tempo e investimentos, dados secundários são muito mais usados, mesmo implicando em algumas suposições simplificadoras (SIMAPRO, 2013).

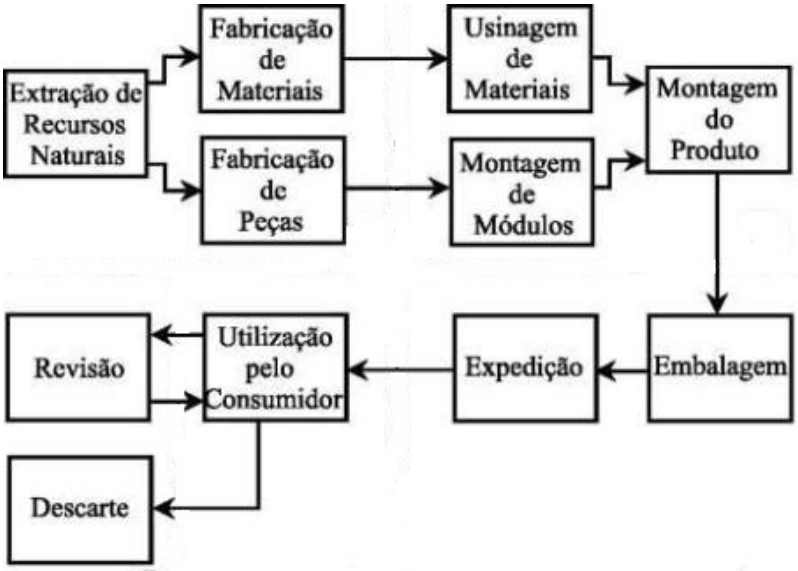

Figura 2.4 - Exemplo de diagrama de fluxo (GRAEDEL; ALLENBY, 1995)

2.4.3. Avaliação de impacto

O primeiro passo desta etapa é selecionar as categorias a serem analisadas no estudo. Dentre as categorias existentes pode-se citar acidificação, eutrofização, emissões para o solo, emissões para o ar, emissões para água, etc. A categoria escolhida para essa pesquisa foi "Mudanças Climáticas", uma vez que o objetivo é determinar o Potencial de Aquecimento Global de cada solução. Neste sentido, o *Intergovernmental Panel for Climate Change* (IPCC) tem desenvolvido diferentes abordagens para estimar o Potencial de Aquecimento Global.

O passo seguinte é aplicar os fatores de caracterização nos resultados do inventário. O inventário dá a quantidade de emissões de cada gás causador de efeito estufa para uma unidade funcional do produto. Quando isto é multiplicado pela quantidade de produto e depois combinado com todos os outros processos contribuintes, o nível global de emissões pode ser determinado (BSRIA, 2013).

Normalização, agrupamento e ponderação não serão tratados nesta pesquisa.

O passo final da avaliação de impacto é a análise de qualidade dos dados, que geralmente é feito através de uma *Pedigree Matrix* para qualidade de dados desenvolvida por Weidema et al. (1998).

2.4.4. Interpretação

Esta etapa serve para identificar as questões significativas encontradas nos resultados e analisar a completude, sensibilidade e consistência da avaliação. Com isso feito, pode-se chegar as conclusões e recomendações do trabalho, que deverá ser apresentado em forma de relatório.

2.5. Estudos existentes relacionados à Avaliação de Ciclo de Vida de sistemas de aquecimento de água

Martinopoulos et al. (2013) conduziram um estudo para identificar os impactos ambientais causados pelo uso de materiais alternativos em sistemas de aquecimento solar de água para uso residencial. Pelos resultados, ficou claro que os impactos causados pelos sistemas de aquecimento solar de água são sempre consideravelmente menores que as opções que usam eletricidade. Os sistemas com o melhor desempenho ao longo do ciclo de vida não são necessariamente os mesmos que aqueles com o menor impacto ambiental durante o processo de produção e manufatura. O grande impacto causado pelo uso de energia elétrica na fase de uso se sobressai em relação às pequenas diferenças dos outros estágios. Isso sugere que os sistemas de aquecimento solar de água devem impactar menos que outros sistemas quando considerando todo o ciclo de vida do produto. A Figura 2.5 mostra os impactos da categoria "Mudanças Climáticas" das diferentes opções de camadas e materiais da placa solar, tomando como base (100%) o impacto causado por um absorvedor simples de cobre.

Ardente et al. (2005) realizaram uma Avaliação de Ciclo de Vida de um coletor solar incluindo extração, produção, instalação, manutenção, transporte e disposição final. Foi determinado um consumo de energia primária de 11,5 GJ. A energia diretamente usada no processo de produção (manufatura do coletor) e instalação contribuiu com apenas 5% do consumo total; transporte durante os vários momentos no ciclo de vida com 6%; o restante é energia incorporada na produção de matéria-prima. A Figura 2.6 mostra que a energia incorporada do coletor e do tanque de água são as principais responsáveis pelo impacto do coletor solar durante o ciclo de vida. Vale ressaltar que a fase de uso não está sendo computada.

Koroneos and Nanaki (2012) examinaram os estágios de produção de um aquecedor solar de água com as seguintes características: 4 m² de painéis coletores planos e um reservatório de água quente de 200 litros. A análise incluiu a produção de matérias primas (aço, vidro, cobre, alumínio, etc.), a manufatura das várias partes do aquecedor e finalmente a montagem. A Figura 2.7 mostra a participação de cada parte do aquecedor em estudo no impacto ambiental total. As emissões foram investigadas pelo método *Eco-Indicator 99* e o principal impacto identificado foi acidificação, com participação atingindo 54%. A contribuição de Potencial de Aquecimento Global por emissão de CO_2 também está presente, mas em porcentagem menor (12%).

Tsilingiridis et al. (2004) aplicaram a metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida para avaliar diferentes configurações de um aquecedor solar de água comumente usado na Grécia e compará-los com o uso de eletricidade e gás natural. Os impactos ambientais associados com a produção e utilização do aquecedor foram obtidos de acordo com o método *Eco-Indicator 99*. A Figura 2.8 mostra que para uma casa com ocupação de três pessoas, o uso de energia solar com backup elétrico corresponde a 38 a 60% (dependendo da configuração do sistema) do impacto causado pelo uso de apenas eletricidade. No caso do gás natural essa diminuição é de 49 a 69%. A pesquisa também mostrou que o aço e o cobre têm o maior impacto entre os materiais utilizados no sistema de aquecimento.

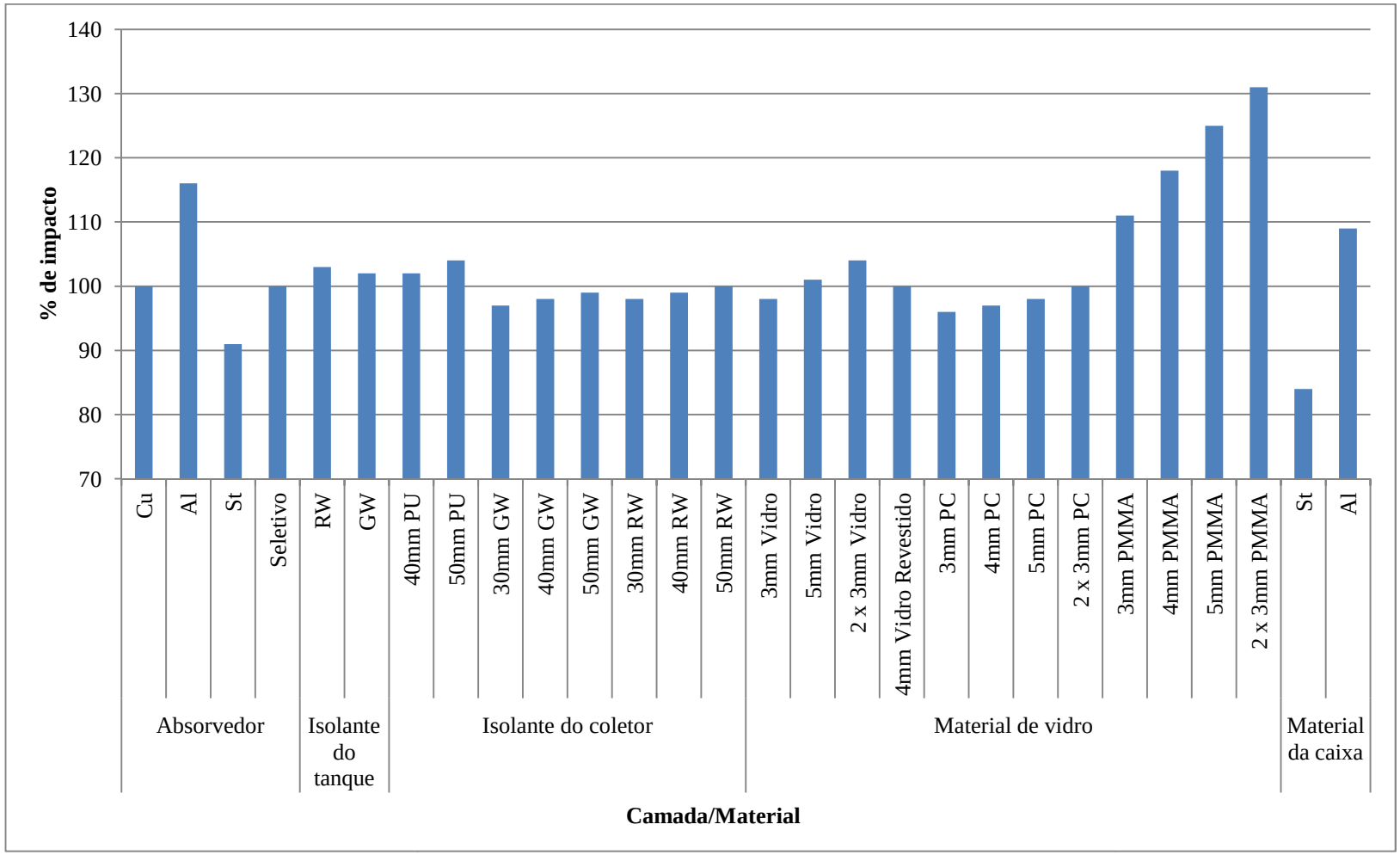

Figura 2.5 – Impacto de mudanças climáticas das alternativas de material (MARTINOPOULOS et al., 2013)

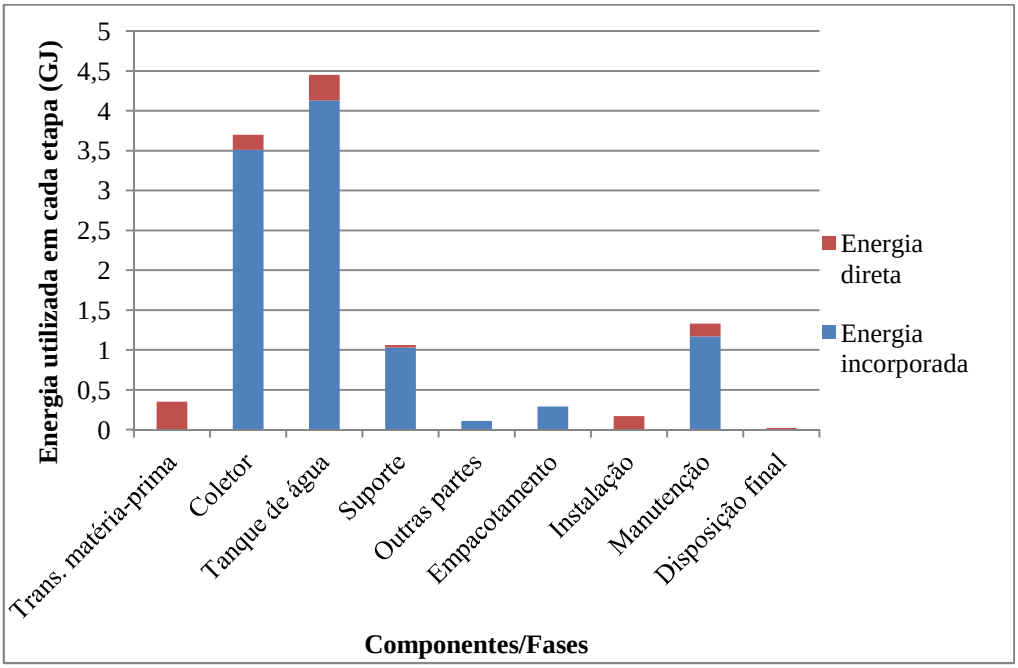

Figura 2.6 - Energia empregada nas diferentes fases do ciclo de vida do coletor solar (ARDENTE et al., 2005)

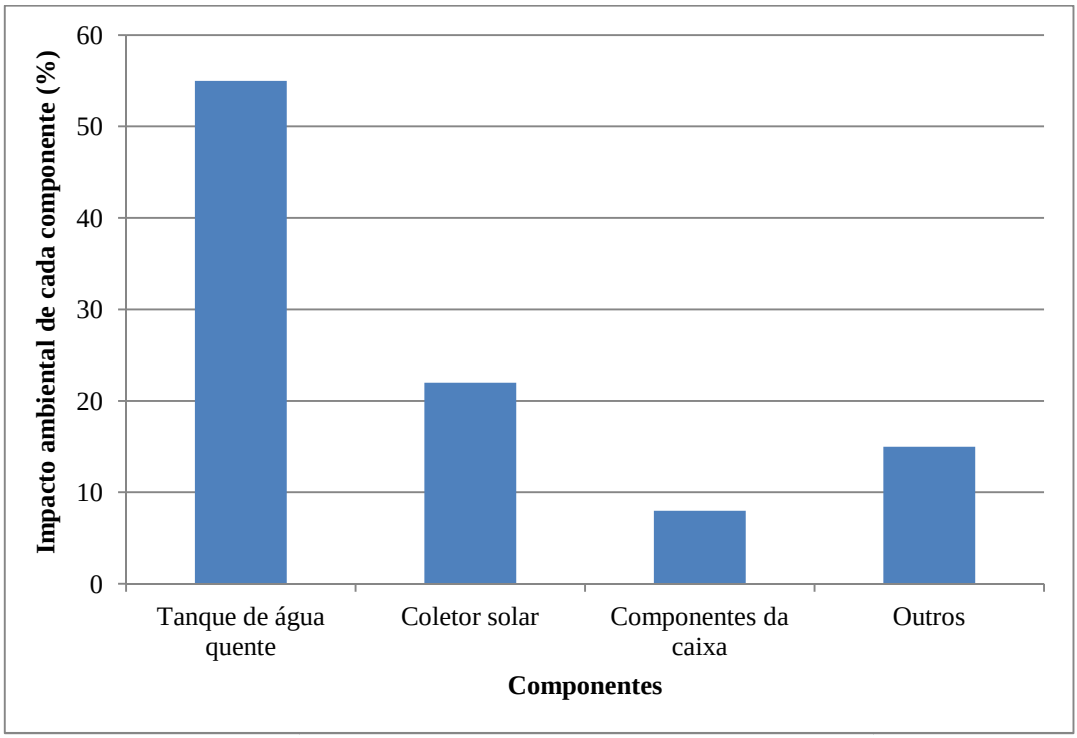

Figura 2.7 – Participação dos componentes do aquecedor no impacto ambiental (KORONEOS; NANAKI, 2012)

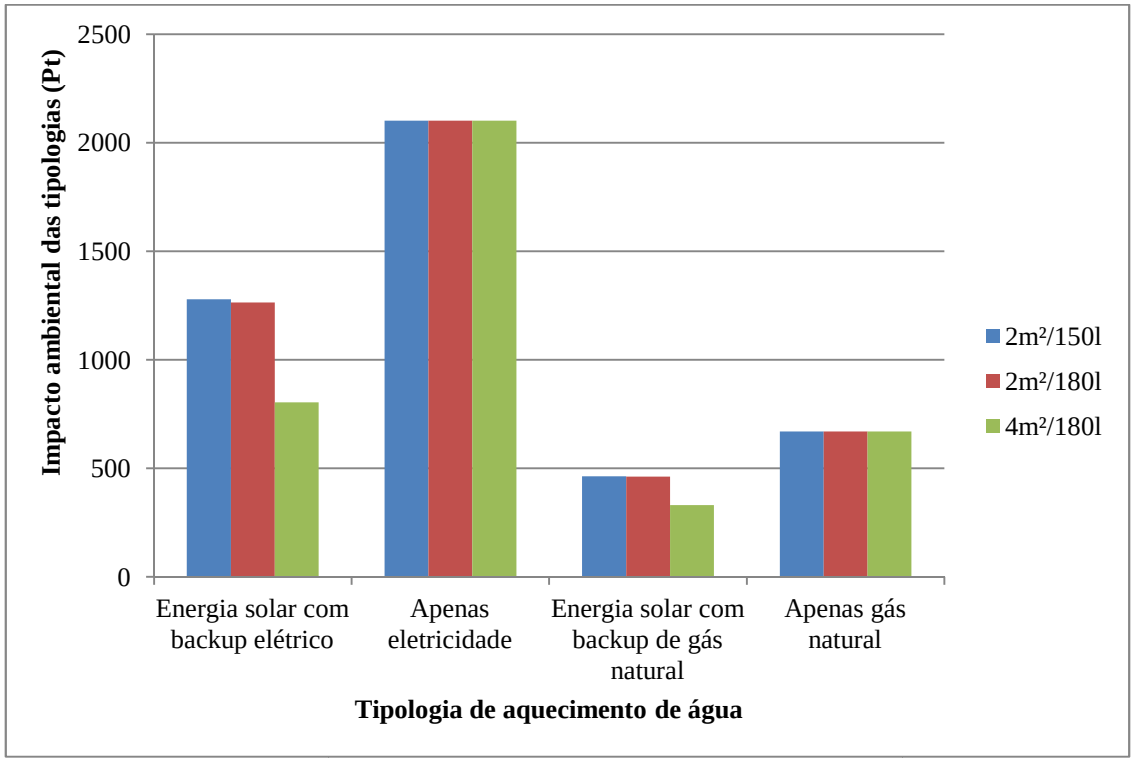

Figura 2.8 - Impacto ambiental das diferentes configurações e tipologias de aquecimento de água (TSILINGIRIDIS et al., 2004)

Taborianski (2002) conduziu um estudo com o objetivo de avaliar o impacto ambiental de sistemas de aquecimento de água (chuveiro elétrico, aquecedor de passagem a gás natural/GLP e aquecedor solar) através de Avaliação de Ciclo de Vida de uma residência unifamiliar no Brasil. Tais sistemas emitem gases geradores de efeito estufa durante a geração de energia para manufatura dos componentes, uso de chuveiro elétrico e resistências de boilers, combustão de combustíveis fósseis e transporte dos componentes. A Figura 2.9 mostra que o chuveiro elétrico é o sistema com maior impacto ambiental, quando considerando emissão de gases de efeito estufa, seguido por gás natural, depois solar, e os melhores resultados foram obtidos com o uso de GLP.

Zambrana-Vasquez et al. (2014) realizaram uma Avaliação de Ciclo de Vida de sistemas de aquecimento solar de água para uso residencial com a finalidade de determinar a solução com menor impacto no meio ambiente. Para isso, 32 tipos de sistemas foram selecionados (sete configurações, quatro insumos e quatro casos sem solar) para atingir a demanda de energia para aquecimento de água de duas casas e dois hotéis na região de Aragão, Espanha, durante 20 anos. Os resultados mostram o impacto em algumas categorias diferentes e também em tempo de recuperação de energia. Entre as conclusões vale ressaltar: o uso de biomassa representa um benefício ambiental quando comparado aos resultados dos outros insumos em termos de kg CO_2 emitido; a fase de uso do sistema é a que mais contribui no impacto ambiental total; e biomassa tem um tempo de recuperação maior, como pode ser observado na Figura 2.10, uma vez que a energia embutida evitada nesse caso é menor que os outros casos.

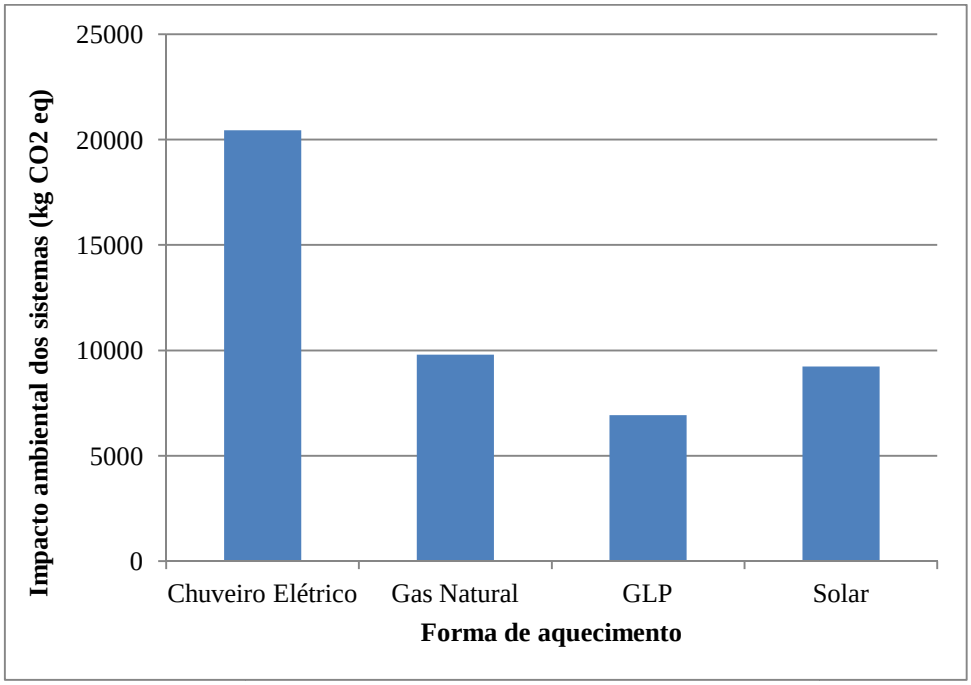

Figura 2.9 – Indicadores de efeito de gases causadores de efeito estufa (TABORIANSKI, 2002)

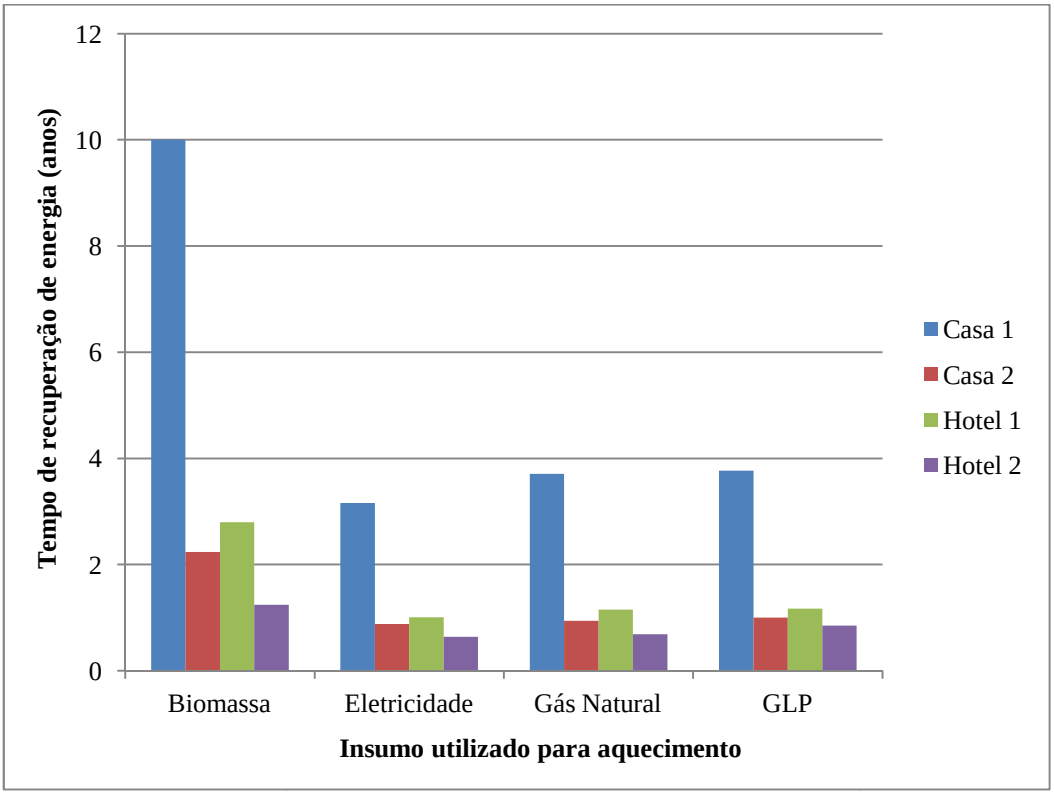

Figura 2.10 – Tempo de recuperação de energia de acordo com o edifício e o insumo (ZAMBRANA-VASQUEZ et al., 2014)

Como se pode observar, nem todos os estudos têm resultados similares. Alguns exaltam o sistema de aquecimento solar de água como o mais indicado quando se trata de sustentabilidade ambiental, enquanto outros negam isso. Tais diferenças podem ocorrer devido a, por exemplo, disponibilidade de combustíveis fósseis ou tipo de geração de energia elétrica na região em estudo. Além disso, os resultados dependem dos limites da Avaliação de Ciclo de Vida em questão.

2.6. Participação dos sistemas de aquecimento de água no setor residencial no Brasil e usos finais de água no setor residencial do Brasil

Um estudo realizado por Ghisi et al. (2007) determina a participação dos tipos de aquecimento de água para banho de quatro regiões brasileiras, como mostrado na Tabela 2.6. No nordeste, que é a região mais quente e menos desenvolvida, 14% da população usa chuveiro elétrico para aquecimento de água para banho, enquanto quase 80% toma banho frio, visto que a temperatura é alta o ano inteiro. Em outras regiões, a média da participação do chuveiro varia de 77% a 90%. O gás ainda não é muito difundido, mas se pode observar números consideráveis na Bahia (23%) e no Rio de Janeiro (17%), evidenciando que a tendência é a participação dessa tipologia crescer. E por fim, o aquecimento solar ainda é pouco utilizado no Brasil.

Tabela 2.6 - Participação dos sistemas de aquecimento de água no setor residencial no Brasil (GHISI et al., 2007)

Região	Estado	Participação no aquecimento do banho (%)			
		Chuveiro elétrico	Gás	Sem aquecimento	Solar ou outros
Nordeste	Rio Grande do Norte	3	1	96	0
	Paraíba	12	2	86	0
	Pernambuco	16	11	72	1
	Alagoas	10	3	87	0
	Bahia	31	23	44	1
Sudeste	Minas Gerais	91	2	6	1
	Espírito Santo	60	3	36	1
	Rio de Janeiro	60	17	21	2
	São Paulo	98	1	0	1
Sul	Paraná	90	7	2	1
Centro-Oeste	Distrito Federal	93	2	3	2
	Goiás	88	2	9	1

Hoje em dia, a escassez de água é um problema ambiental que afeta a sociedade, principalmente para as gerações futuras. Por isso é muito importante estudar a forma de utilização da água nas residências, para poder criar soluções de racionamento de água e mostrar a relevância de alguns estudos.

Um estudo em 48 residências na região metropolitana de Florianópolis mostrou que o chuveiro é o maior uso final de água residencial, com 32,7%, seguido de descarga do vaso sanitário, pia da cozinha, lavadora de roupas, torneira externa, tanque e lavatório, de acordo com a Tabela 2.7 (MARINOSKI et al., 2013). O estudo tem uma confiabilidade de 90%, assim, os valores podem chegar aos limites máximos e mínimos mostrados na Tabela 2.7.

Tabela 2.7 - Usos finais de água (MARINOSKI et al., 2013)

Aparelho	Uso final de água (%)	Intervalo de confiança 90%	
		Limite mínimo (%)	Limite máximo (%)
Chuveiro	32,7	27,9	37,5
Descarga de vaso sanitário	19,4	17,0	21,8
Pia de cozinha	18,0	15,8	20,2
Lavadora de roupa	10,7	8,5	13,0
Torneira externa	6,7	4,6	8,8
Tanque	6,1	3,1	9,1
Lavatório	5,2	3,9	6,6
Outros	1,2	0,9	1,6

Em outro estudo, realizaram-se medições com hidrômetros para 100 residências da zona oeste de São Paulo, com consumo na faixa de 15 a 20 m³/mês cada uma. O resultado está resumido na Tabela 2.8 e mostra que o chuveiro tem a maior porcentagem de consumo de água de uma residência entre os aparelhos específicos analisados (BARRETO, 2008).

Ghisi e Ferreira (2007), em um estudo de um edifício residencial com 3 blocos, chegaram nos resultados mostrados na Tabela 2.9. Pode-se observar que neste caso o vaso sanitário tem maior contribuição que o chuveiro, que é aparelho com segundo maior consumo de água. O consumo excessivo do vaso sanitário neste caso é pelo uso de descarga com válvula e não caixa acoplada.

Tabela 2.8 - Percentual de participação dos pontos de utilização no consumo de residências na zona oeste de São Paulo (BARRETO, 2008)

Aparelho	Uso final de água (%)
Outros	30,6
Chuveiro	13,9
Pia de cozinha	12,0
Lavadora de roupa	10,9
Tanquinho de lavar	9,2
Tanque com máquina de lavar	8,3
Caixa acoplada	5,5
Tanque	5,4
Lavatório	4,2

Tabela 2.9 - Uso final de água em edifício residencial de 3 blocos em Florianópolis (GHISI; FERREIRA, 2007)

Usos Finais (%)	Bloco A	Bloco B	Bloco C	Média
Vaso sanitário	35,1	29,7	34,8	33,2
Chuveiro	16,2	23,2	28,6	22,7
Louça	33,6	12,1	14,0	19,9
Lavatório	10,5	23,4	14,0	16,0
Lavadora de roupas	2,0	5,9	6,0	4,6
Limpeza	2,1	4,5	1,9	2,8
Cocção	0,5	1,2	0,7	0,8

Em pesquisa realizada em duas residências em Palhoça, Ghisi e Oliveira (2007), atingiram os resultados explicitados na Tabela 2.10. Neste caso, mesmo com descarga com válvula, o chuveiro ainda tem o maior consumo de água.

Tabela 2.10 - Usos finais de água em duas residências em Palhoça (GHISI; OLIVEIRA, 2007)

Usos Finais (%)	Casa A	Casa B	Média
Chuveiro	32,8	45,6	39,2
Vaso sanitário	30,4	25,6	28,0
Pia cozinha	28,0	13,5	20,8
Lavadora de roupas	6,2	8,2	7,2
Barba	0,7	4,5	2,6
Lavatório	1,9	2,6	2,3

Apesar de não haver uma constância entre os resultados dos estudos, pode-se observar que o consumo do chuveiro tem grande relevância no consumo total de água de uma residência. Os resultados para o chuveiro variaram de 13,9 a 39,2%. Tal variação ocorre devido as diferentes localidades dos estudos, diferentes hábitos de uso de água de acordo com o perfil socioeconômico da população e até erros nos estudos.

2.7. Sistema brasileiro de geração de energia elétrica e usos finais de energia no setor residencial do Brasil

O sistema de geração de energia elétrica do Brasil tem a origem hídrica como a sua principal contribuidora. Quase três quartos da energia nacional são gerados por este tipo de usina. O restante é fornecido por termelétricas a carvão e derivados, gás natural, derivados de petróleo, usina nuclear, usina eólica e biomassa. A Tabela 2.11 mostra a porcentagem de energia elétrica gerada no Brasil.

Tabela 2.11 - Sistema brasileiro de geração de energia elétrica (MME, 2014)

Sistema	Energia elétrica utilizada no Brasil (%)
Hidráulica	70,6
Gás natural	11,3
Biomassa	7,6
Derivados de petróleo	4,4
Carvão e derivados	2,6
Nuclear	2,4
Eólica	1,1

Tais porcentagens serão levadas em conta na hora da realização dos cálculos da análise de ciclo de vida dos equipamentos. Porém, no sistema energético brasileiro, devido à interligação entre seus sistemas de geração, não é possível definir com exatidão onde foi gerada a energia consumida em uma localidade.

O consumo de energia elétrica do setor residencial é foco de estudo em todo o planeta, uma vez que representa boa parte do consumo total nacional. No Brasil, esse consumo era de 20% em 1991 e passou a ser 27% em 2000 (GHISI et al., 2007).

Em uma pesquisa em 12 capitais de estados brasileiros foi verificado que o chuveiro elétrico é responsável por 20% do consumo de energia elétrica residencial, ficando atrás apenas da geladeira e freezer, com 42%. Em seguida tem-se: iluminação, ar-condicionado, televisão, aparelho de som, ferro de passar roupa, lavadora de roupa e micro-ondas, como pode-se observar na Tabela 2.12. O uso do ar-condicionado e do chuveiro elétrico depende bastante da estação do ano analisada e da área de estudo. O ar-condicionado representa 2% do consumo residencial no inverno e 16% no verão, por exemplo. No nordeste, região mais quente do país, apenas 14% da população usa chuveiro elétrico para banho e quase 80% toma banhos frios, uma vez que a temperatura é alta o ano inteiro. Nas regiões mais ao centro e sul, cerca de 85% da população usa chuveiro elétrico como aquecimento de água para banho (GHISI et al., 2007).

O relatório da pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, desenvolvido pelo PROCEL, teve como resultados os dados apresentados na Tabela 2.13 (ELETROBRÁS, 2007).

Tabela 2.12 - Usos finais de energia elétrica no setor residencial do Brasil (GHISI et al., 2007)

Aparelho	Uso final de energia elétrica (%)
Geladeira	33
Chuveiro elétrico	20
Iluminação	11
Ar condicionado	10
Freezer	9
TV	6
Aparelho de som	5
Ferro de passar roupa	3
Lavadora de Roupa	2
Micro-ondas	1

Tabela 2.13 - Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial do Brasil (ELETROBRÁS, 2007)

Aparelho	Uso final de energia elétrica (%)
Geladeira/freezer	27
Chuveiro elétrico	24
Ar-condicionado	20
Outros	15
Iluminação	12

Silva et al. (2013) encontraram resultados expressivos para a participação do chuveiro no consumo de energia de uma residência, analisando 60 casas de baixo padrão na região metropolitana de Florianópolis. Os resultados estão na Tabela 2.14.

Tabela 2.14 - Uso final de energia elétrica anual com 90% de confiança (SILVA, 2013)

Aparelho	Uso final de energia elétrica (%)
Chuveiro elétrico	36,8
Geladeira	29,9
Outros	10,5
TV	10,2
Iluminação	5,2
Lavadora de Roupa	0,9
Micro-ondas	0,6

Apesar de haver disparidade entre os resultados dos estudos, todos evidenciam que o chuveiro apresenta uma grande contribuição no consumo de energia elétrica de uma residência, variando de 20,0 a 36,8%. Portanto, pode-se concluir que estudar outras formas de aquecer a água pode reduzir o consumo de energia elétrica no país, trazendo benefícios econômicos e ambientais para o mesmo.

O uso final de energia elétrica também varia muito conforme a zona bioclimática (ou até a subzona bioclimática) analisada. Fedrigo et al. (2009) mostram resultados bastante específicos e interessantes, relacionados nas Tabelas 2.15 e 2.16.

Tabela 2.15 - Usos finais de energia elétrica residencial no Brasil por Subzonas no verão (FEDRIGO et al., 2009)

Zonas	Subzonas	Uso final de energia elétrica residencial por Subzona Bioclimática em porcentagem (%)					
		Iluminação	Refrigerador /Freezer	Chuveiro	Ar-Cond.	Televisor	Outros
1	A	1,5	32,4	38,8	2,5	10,0	14,8
	B	3,9	23,9	31,7	10,1	9,4	21,0
2	C	9,9	54,9	0,0	2,4	9,6	23,2
	D	3,8	32,5	34,2	0,5	10,7	18,3
	E	5,4	37,2	31,9	0,4	9,0	16,1
3	F	7,2	39,5	14,9	1,5	12,2	24,7
	G	8,7	40,8	21,2	3,8	8,3	17,2
4	H	12,2	36,1	14,7	2,8	14,3	19,9
	I	9,1	47,2	5,1	2,5	12,7	23,4
5	J	9,3	48,1	6,3	1,6	14,1	20,6
	K	8,2	34,6	21,1	1,3	11,2	23,6
	L	4,6	38,4	41,1	1,2	6,6	8,1
6	M	7,4	38,2	24,7	4,7	11,2	13,8
	N	7,4	39,2	15,3	5,7	12,6	19,8
	O	9,3	42,1	12,8	3,0	13,7	19,1
	P	7,0	52,6	2,2	0,0	14,4	23,8
7	Q	8,2	40,5	18,0	0,0	12,9	20,4
	R	14,6	33,3	3,0	0,0	16,3	32,8
	S	8,8	48,2	0,5	3,3	16,0	23,2
8	T	8,5	54,0	0,9	4,4	16,2	16,0
	U	1,8	49,6	0,3	7,1	15,1	26,1
	V	7,4	50,3	18,5	1,0	11,4	11,4
	X	13,6	39,7	2,5	0,2	14,0	30,0

Tabela 2.16 - Usos finais de energia elétrica residencial no Brasil por Subzonas no inverno (FEDRIGO et al., 2009)

Zonas	Subzonas	Uso final de energia elétrica residencial por Subzona Bioclimática em porcentagem (%)					
		Iluminação	Refrigerador /Freezer	Chuveiro	Ar-Coind.	Televisor	Outros
1	A	1,5	33,9	38,7	0,0	10,5	15,4
	B	3,7	22,1	46,1	0,0	8,5	19,6
2	C	9,9	56,1	0,0	0,1	9,8	24,1
	D	3,4	30,4	39,2	0,0	10,0	17,0
	E	5,0	34,5	36,2	0,1	8,5	15,7
3	F	5,6	32,0	33,0	0,3	9,8	19,3
	G	8,2	40,2	26,4	0,0	7,9	17,3
4	H	10,3	31,3	31,1	0,0	11,8	15,5
	I	7,6	40,2	22,9	0,0	10,0	19,3
5	J	8,5	46,7	11,7	0,0	13,3	19,8
	K	6,6	30,3	35,0	0,0	9,4	18,7
	L	5,3	47,7	29,8	0,0	8,2	9,0
6	M	7,1	36,8	31,2	0,0	10,9	14,0
	N	6,6	36,6	26,5	0,0	11,6	18,7
	O	6,5	31,0	39,2	0,0	9,5	13,8
	P	4,5	39,8	28,2	0,0	11,3	16,2
7	Q	5,8	26,9	44,9	0,0	9,3	13,1
	R	7,8	18,5	45,5	0,0	8,6	19,6
	S	8,6	46,8	2,4	3,1	15,8	23,3
8	T	8,6	54,6	1,3	0,8	16,7	18,0
	U	1,9	45,9	12,7	0,0	14,2	25,3
	V	8,1	54,6	11,4	1,2	12,2	12,5
	X	7,6	23,9	43,0	0,0	8,0	17,5

Estes dados mostram que, dependendo da região, o consumo de energia elétrica do chuveiro pode variar de quase 0% (no verão de zonas mais quentes) até 46,1% (no inverno de zonas mais frias) do uso final de energia elétrica da residência. Isto indica que os estudos sobre aquecimento de água residencial não devem ser tratados de maneira geral em âmbito nacional. As particularidades devem ser levadas em conta para que os resultados sejam os mais precisos possíveis.

2.8. Síntese

A revisão de literatura mostrou que a etiquetagem de eficiência energética de edificações é algo crescente em todo o mundo, e que apesar de o Brasil contar com um regulamento para esta função, alguns pontos ainda devem ser aprimorados.

O aquecimento de água é um tópico de significativa relevância em se tratando de eficiência energética, uma vez que contribui com grande parte dos usos finais de água e energia de uma edificação.

Uma Avaliação de Ciclo de Vida é vista como um método eficiente para avaliar o conteúdo presente no RTQ-R para aquecimento de água. Alguns estudos semelhantes mostram que tal método atinge resultados satisfatórios.

Através da revisão bibliográfica chegou-se a conclusão que no cenário brasileiro os sistemas de aquecimento mais presentes nas residências são os que utilizam energia elétrica, gás ou energia solar, e por isso estas serão as tipologias a serem estudadas no método. A matriz de geração energética do Brasil supramencionada será usada como base para todas as regiões.

3. Método

O método consiste na aplicação de uma Avaliação de Ciclo de Vida para a análise do Potencial de Aquecimento Global das diferentes tipologias de aquecimento de água residencial. Este capítulo tem como objetivo detalhar como foi feita esta análise e mostrar todas as considerações necessárias.

A avaliação considera o consumo de energia e emissões atmosféricas para que se possa fazer uma comparação entre sistemas elétricos, a gás e solar, e identificar os mais eficientes.

O tipo de sistema adotado e a quantidade de material empregada em um sistema de aquecimento de água variam conforme o tipo de habitação adotado. Fatores sociais, econômicos ou mesmo climáticos, têm papel fundamental na escolha do sistema de aquecimento de água a ser empregado. Dependendo do projeto arquitetônico, tem-se distribuições diferentes para tubulações, localização da caixa d'água e o emprego de certos acessórios. Por isso, um estudo comparativo entre diversas tipologias de aquecimento de água só se justifica com a adoção de um modelo arquitetônico comum a todos. Além disso, o sistema de aquecimento requer modificações não só nas instalações hidráulicas, mas também nas instalações elétricas da habitação adotada.

Como este estudo visa questionar e otimizar o conteúdo presente no RTQ-R, faz-se necessário adotar um modelo de residência unifamiliar e outro modelo de edifício multifamiliar, uma vez que os resultados encontrados podem ser diferentes. Além disso, a análise foi conduzida para três cidades distintas: Natal, Brasília e Florianópolis. Estas cidades foram escolhidas porque têm características climáticas bastante diferentes umas da outras.

O uso de ferramentas computacionais atuais auxilia muito neste tipo de pesquisa, permitindo uma análise mais completa, rápida e confiável. Neste caso, a ferramenta escolhida foi o programa SimaPro, amplamente utilizado no mercado mundial para avaliações de ciclo de vida. Tal ferramenta conta com base de dados *Ecoinvent*, criada pelo *Swiss Centre for Life Cycle Inventories* com o objetivo de disponibilizar os dados mais relevantes, confiáveis, transparentes e acessíveis para usuários de todo o mundo.

A Avaliação de Ciclo de Vida propriamente dita tem início com a definição do objetivo e do escopo, trazendo informações acerca da unidade funcional, limites, tempo de vida e manutenção. A seguir é elaborado o inventário, que engloba a definição de equipamentos para aquecimento de água, materiais extraídos, transformados e manufaturados, equações para o cálculo de energia utilizada e fornecimento, e considerações sobre o uso dos equipamentos nas regiões em estudo. A avaliação de impacto disserta sobre a categoria de impacto selecionada para o trabalho. Por fim, a interpretação permite a análise crítica dos resultados para atingir os objetivos.

Vale ressaltar que a caracterização e quantidade dos materiais e processos usados na extração, transformação, manufatura, fornecimento, uso e disposição final foram assumidos de acordo com análise de mercado e pesquisa similar (TABORIANSKI, 2002).

3.1. Seleção dos tipos de edifícios residenciais

Em um país com as proporções continentais do Brasil, a diversidade de aspectos econômicos, sociais e culturais é inerente. Isto faz com que exista uma enorme variabilidade de tipos de domicílios. Na realização de um estudo que represente a realidade, o ideal é realizar um levantamento de dados para encontrar o tipo mais comum existente. Taborianski (2002) mostra que o tipo de domicílio mais comum no Brasil é a casa não rústica, com cinco cômodos, sendo dois dormitórios e um banheiro, totalizando quatro habitantes por residência.

Para o estudo em questão resolveu-se usar uma casa com padrões similares a esses, e além dela, um edifício multifamiliar com disposição de cômodos semelhantes. Os projetos são da Casa Modular Fischer e do Prédio Modular Fischer, da empresa Irmãos Fischer S.A. Escolheu-se usar um edifício multifamiliar além da casa porque nesse tipo de edifício, os padrões de aquecimento de água são bastante diferentes e assim, os resultados encontrados podem ser diferentes também. A escolha dos projetos da Irmãos Fischer S.A. foi feita por se enquadrarem bem aos requisitos do trabalho e, também, pela dificuldade de conseguir projetos de iniciativa pública mais comuns. O trabalho exige projeto arquitetônico, hidráulico e elétrico, e a Irmãos Fischer S.A. foi a única empresa que disponibilizou uma casa e um prédio com todos esses projetos.

As Figuras 3.1, 3.2 e 3.3 mostram a planta baixa e os cortes AA e BB da casa, respectivamente. Trata-se de uma casa com área útil de 37,06 m² (6,68 x 5,90m), com dois dormitórios (dormitório 1 com 8,58 m² e dormitório 2 com 10 m²), uma sala/cozinha com 15,64 m² e um banheiro de 2,84 m². O pé direito da casa mede 2,50m e a altura total é de 3,73m. A Figura 3.4 mostra uma foto de uma casa construída em Brusque/SC.

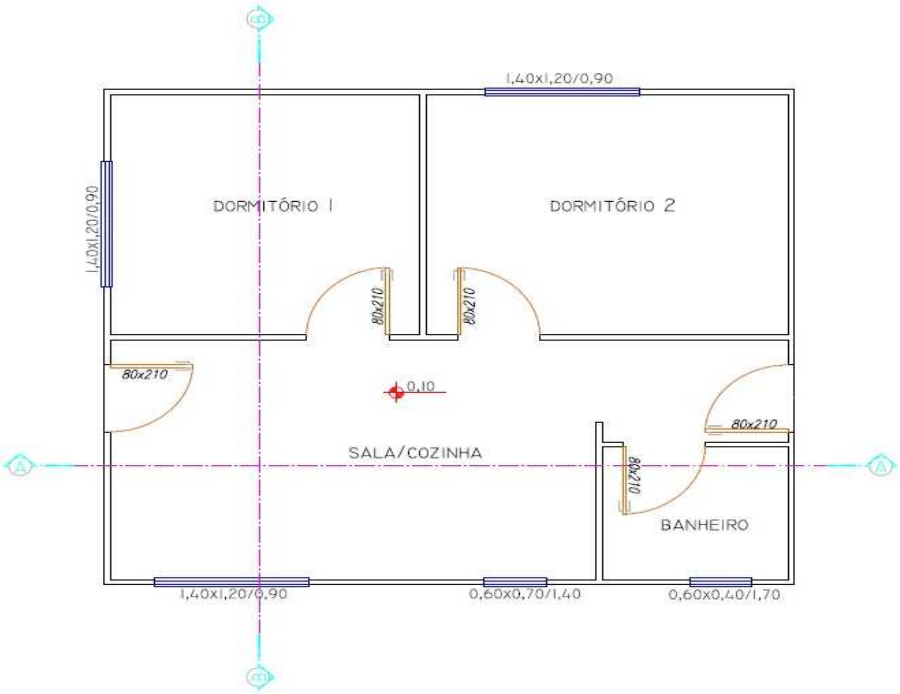

Figura 3.1 – Planta baixa da Casa Modular

Figura 3.2 - Corte AA

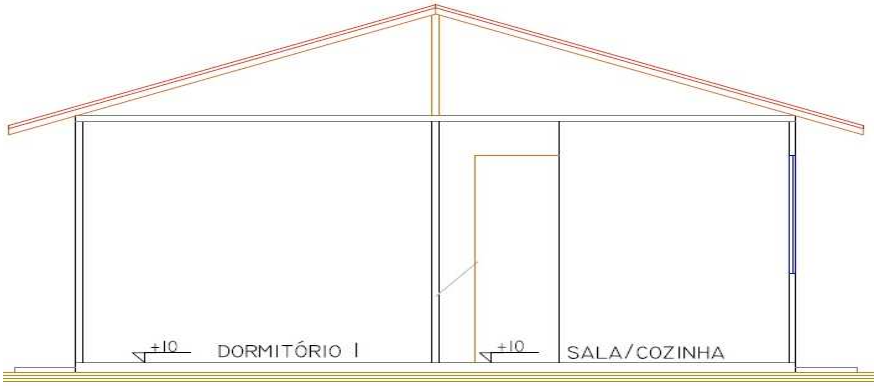

Figura 3.3 - Corte BB

Figura 3.4 – Casa Modular Fischer em Brusque/SC

A Figura 3.5 apresenta uma maquete digital do prédio que permite uma boa visualização das placas solares. As Figuras 3.6, 3.7, 3.8 e 3.9 mostram o apartamento padrão, planta baixa do pavimento tipo e cortes do Prédio Modular. Pode-se perceber a semelhança entre os layouts do apartamento e da casa. A Figura 3.10 mostra um Prédio Modular construído em Brusque/SC.

Figura 3.5 – Maquete digital do Prédio Modular mostrando as placas solares orientadas para o norte verdadeiro

Figura 3.6 – Apartamento padrão do Prédio Modular

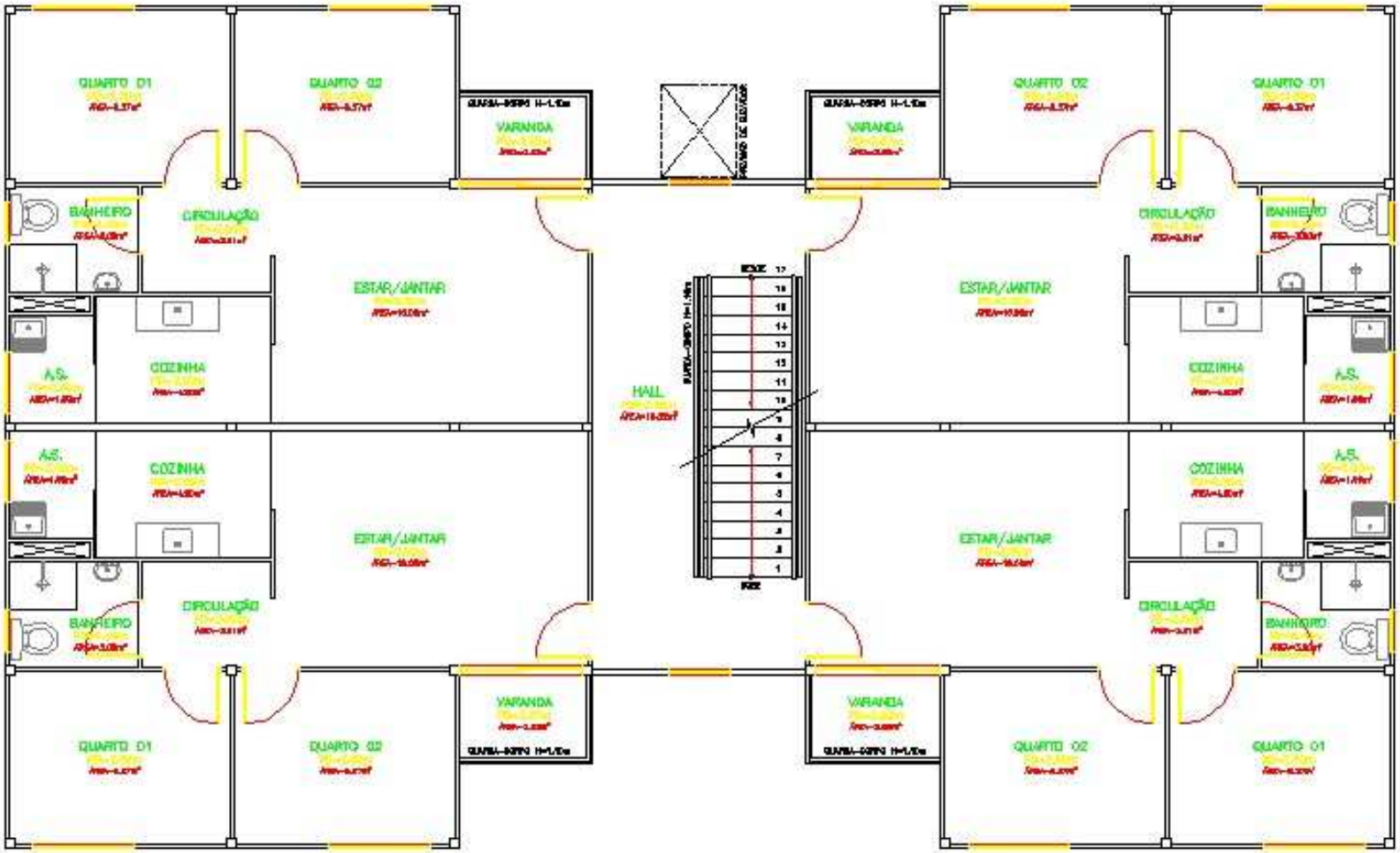

Figura 3.7 – Planta baixa do pavimento tipo do Prédio Modular

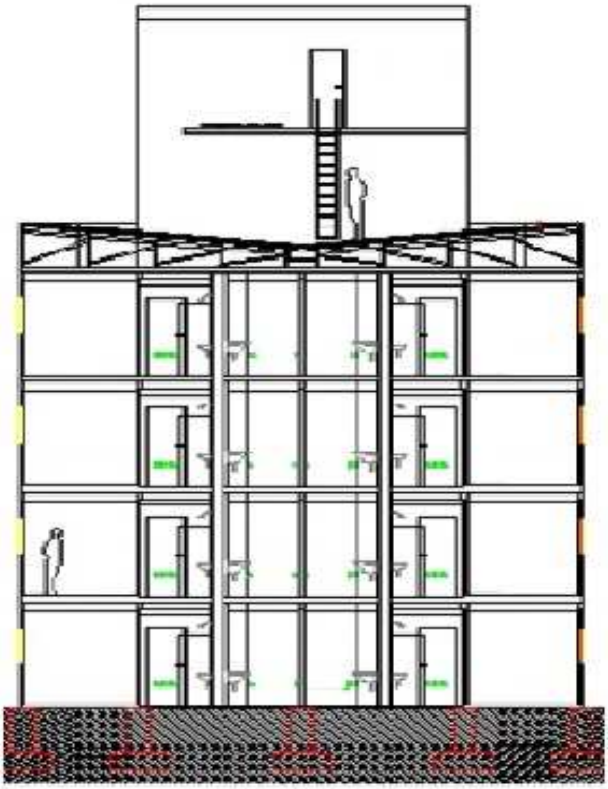

Figura 3.8 - Corte CC

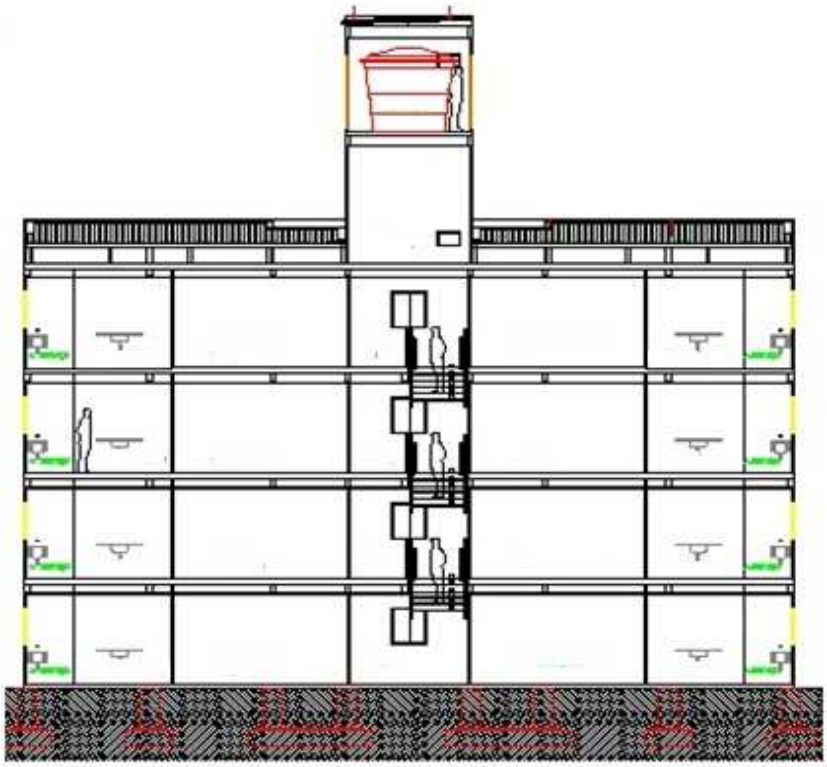

Figura 3.9 - Corte DD

Figura 3.10 - Prédio Modular em Brusque/SC

Os projetos da Casa Modular Fischer e do Prédio Modular Fischer encontram-se no CD em anexo.

3.2. Definição dos dados de entrada

Para quantificar o peso dos materiais utilizados no projeto pensou-se em identificar os materiais presentes em cada parte do sistema (seja nas tubulações, equipamentos, reservatórios, etc.), e através quantitativos e densidades, calcular o peso total de cada material. Infelizmente, não foi possível conseguir informações técnicas dos fornecedores dos sistemas de aquecimento referentes à caracterização dos materiais presentes em cada equipamento, inviabilizando este procedimento.

Partiu-se então para uma segunda opção. Os projetos da Casa Modular Fischer fornecidos pela Irmãos Fischer S.A. foram analisados e comparados com os projetos utilizados por Taborianski (2002). Pôde-se perceber semelhanças significativas entre ambos, tanto em dimensionamento quanto em quantitativos, uma vez que a casa tem os mesmos padrões, mudando apenas a tecnologia de construção. Optou-se, então, por trabalhar com os valores idênticos aos da base de dados de Taborianski (2002). Assim, para a casa, as quantidades de materiais utilizadas nas etapas de extração e transformação foram importadas de Taborianski (2002).

Em relação ao Prédio Modular Fischer, essa simples importação não é aplicável, uma vez que os projetos são bem diferentes. Optou-se por analisar os quantitativos de ambos e chegar a resultados extrapolados. Ou seja, estimou-se uma alocação das quantidades de materiais de Taborianski (2002) para cada parte de cada sistema. Esta alocação foi feita através de dados técnicos de fornecedores contendo informações e desenhos que permitem assumir quantidades de materiais presentes em cada parte através da densidade do material. O valor alocado foi multiplicado pela razão entre o quantitativo desta parte do sistema do prédio e o quantitativo desta parte do sistema de Taborianski (2002). Assim, supondo que para a placa solar foi atribuído um valor “x” de cobre, e que o prédio tenha dez vezes o

número de placas da casa, a quantidade de cobre referente a placas solares do prédio será de 10x e a esse valor deverão ser acrescentadas as quantidades de cobre referentes a todas as outras partes.

3.3. Avaliação de Ciclo de Vida

3.3.1. Objetivo e escopo

Esta ACV tem como proposta avaliar comparativamente o Potencial de Aquecimento Global de sistemas de aquecimento de água em edificações padrões.

Trata-se de uma análise de "berço ao túmulo", ou seja, todas as etapas desde a extração da matéria prima até a disposição final são consideradas. A fase de uso tem um papel chave na análise, uma vez que os sistemas operam de maneira bem diferente um do outro. O estágio da manufatura de um sistema pode impactar muito mais que outro, mas a fase de uso pode exceder a de manufatura e mudar os resultados, ou vice-versa.

Materiais não encontrados na base de dados *Ecoinvent* são substituídos por outros com características e desempenho similar. Distâncias de transporte são calculadas através de pesquisa de mercado, ou seja, para cada material ou componente, a indústria de extração/produção mais próxima da localidade é identificada, e sua distância até o local em questão é determinada.

O sistema estudado é definido em termos de unidade funcional, fluxo de referência e limites. A unidade funcional é definida como a produção da demanda de água quente em litros a no mínimo 37°C. Adotaram-se banhos com oito minutos de duração com 0,20 L/s de vazão e um banho por habitante por dia, durante 20 anos (TABORIANSKI, 2002). O fluxo de referência é a massa de cada material usada para prover a determinada unidade funcional.

Os limites do sistema incluem a extração de matéria prima, produção dos materiais, fornecimento (transporte), uso e disposição final. O processo de produção/montagem final das partes do equipamento na indústria e a instalação no local não são levados em conta por falta de informação.

Os sistemas operam normalmente durante todo o período de 20 anos, pois se considerou que as tubulações e os aquecedores solares e a gás têm essa vida útil. A exceção está no chuveiro e na resistência elétrica, que devem ser trocados por ter uma vida útil menor.

3.3.2. Inventário

Mesmo o aquecedor de água sendo um dos seus maiores componentes, um sistema de aquecimento de água não é limitado a ele. Tubulações, registros, válvulas e acessórios também fazem parte. Assim, uma ACV desses sistemas é bastante complexa, envolvendo múltiplos dispositivos com diferentes tipos de materiais.

As considerações sobre os inventários do chuveiro elétrico e aquecedor de passagem a gás são as mesmas tanto para a residência unifamiliar quanto para o prédio multifamiliar. No aquecimento solar existe uma mudança do sistema utilizado, uma vez que o sistema

compacto não é indicado para edificações multifamiliares. Além disso, dois sistemas de acumulação (boiler elétrico e a gás) são incluídos na avaliação da edificação multifamiliar.

A Figura 3.11 mostra um desenho esquemático dos sistemas de aquecimento de água. Nela está contemplado um esquema vertical de um sistema de aquecimento de água solar para a Casa Modular Fischer. Considerando o uso de chuveiro elétrico ou aquecedor de passagem a gás, descarta-se o uso de reservatório térmico e placa solar. Para o prédio, o esquema é semelhante com mais placas e mais tubulações, sendo que para os sistemas de acumulação elétrico e a gás, não há necessidade de placa coletora.

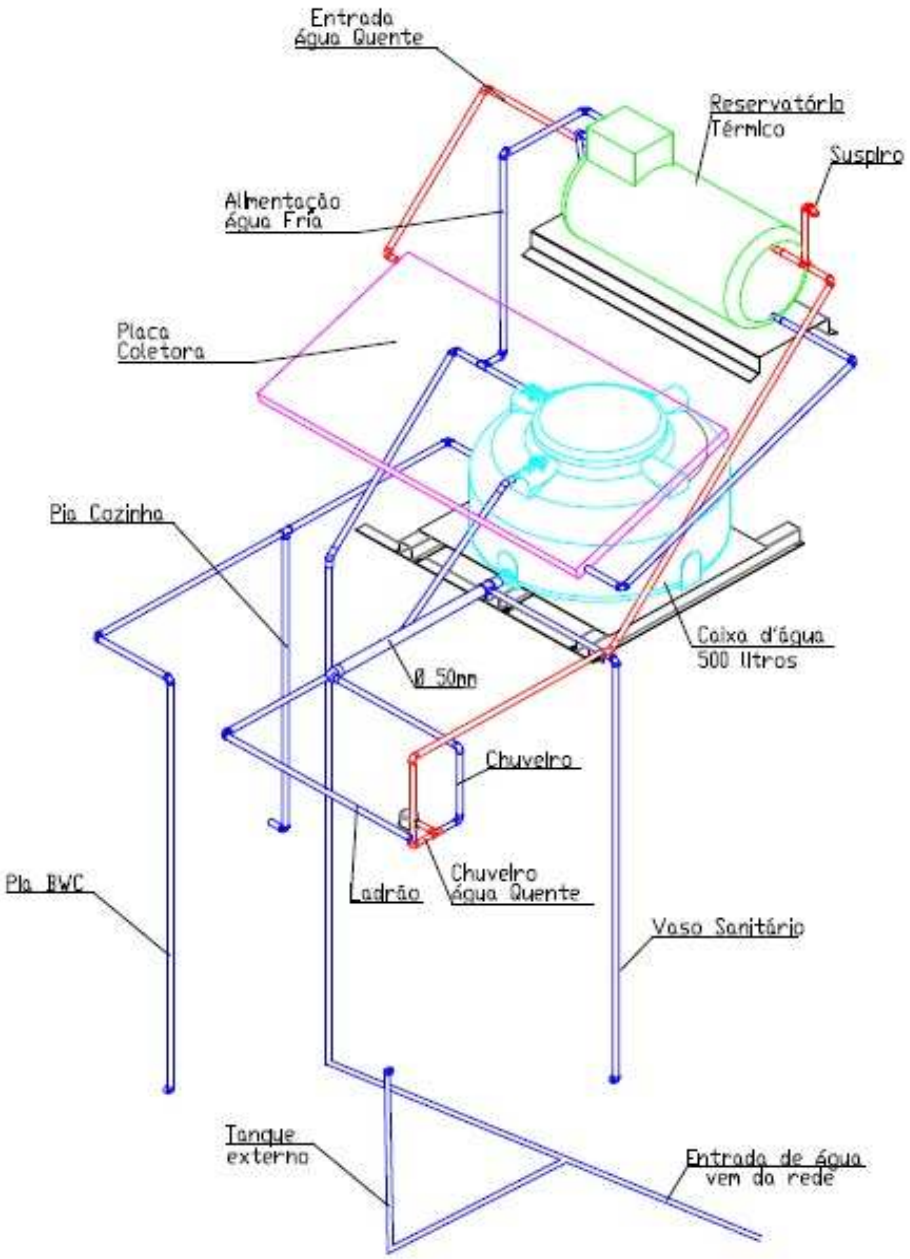

Figura 3.11 - Esquema vertical do sistema de aquecimento

Foi selecionado o chuveiro elétrico Lorenzetti Maxi Ducha (Figura 3.12) com 5500W de potência na posição inverno e 4600W na posição verão. Tal escolha foi feita por ser um chuveiro bastante comum nas residências brasileiras.

Figura 3.12 – Chuveiro elétrico selecionado (LORENZETTI, 2014)

Quando se usa chuveiro elétrico, existe um aumento significativo na demanda de energia da residência, sendo necessário um fornecimento bifásico e o uso de bitolas maiores para cabos e conduítes. Além disso, faz-se necessário a utilização de um circuito específico para o chuveiro. As especificações e quantificações dos componentes elétricos e hidráulicos são encontradas no Apêndice A.

Para obter a quantidade de trocas desses equipamentos foi utilizada a Equação 1. O tempo médio de vida do chuveiro é de 10 anos e das resistências elétricas de 5 anos (TABORIANSKI, 2002).

$$\text{Trocas} = \frac{\text{Tempo de vida da construção}}{\text{Tempo de vida do material}} - 1 \qquad \text{(Equação 1)}$$

Na extração, foram considerados os materiais que têm impacto significativo no ambiente, principalmente os que estão presentes em grande quantidade no projeto. Vale ressaltar que é preciso muito mais minério na extração do que no produto final feito com tal material, uma vez que existem significantes perdas e desperdícios.

Transformação e manufatura seguem o mesmo padrão da extração, exceto o fato de a manufatura tratar de processos e não materiais.

O fornecimento, nomenclatura utilizada para designar os procedimentos relacionados ao transporte de materiais e equipamentos até o local de destino, é estimado como a quantidade de material em toneladas multiplicado pela distância percorrida em quilômetros, chegando a um resultado em t.km, de acordo com a Equação 2. A quantidade

de material é obtida com o peso de cada material em Taborianski (2002) e catálogo de produtos; enquanto a distância percorrida é obtida medindo a distância entre o local de origem (fábrica do produto mais próxima ao destino) e destino (centro de cada cidade analisada) de cada material através do software *Google Maps*.

$$F = Q \times \Delta d \qquad \text{(Equação 2)}$$

Onde:
F = fornecimento (t.km);
Q = quantidade de material (t);
Δd = distância percorrida (km).

Na fase de uso, o consumo de energia foi calculado de acordo com a Equação 3. A potência do aparelho é obtida em informações técnicas do mesmo. O tempo de utilização é o tempo total em horas que o chuveiro fica ligado durante os 20 anos, considerando banhos de 8 minutos e um banho por habitante por dia. As eficiências dos chuveiros elétricos aceitos pelo INMETRO são todas maiores que 95%, e por isso esse número foi considerado como a eficiência do chuveiro (INMETRO, 2014a).

$$E_{elétrica} = \frac{P \times \Delta t}{\eta_e} \qquad \text{(Equação 3)}$$

Onde:
$E_{elétrica}$ = energia elétrica (kWh);
P = potência do aparelho (kW);
Δt = tempo de utilização (h);
η_e = eficiência do chuveiro elétrico.

O impacto ambiental de um sistema de aquecimento de água de uma residência depende da região geográfica em que esta residência está inserida. As condições climáticas servem de base para a identificação da quantidade de energia necessária/disponível pelos equipamentos que aquecem a água.

Além disso, a disponibilidade de recursos naturais na região e a proximidade das indústrias vão nortear os impactos relacionados ao transporte.

Desta forma, optou-se por analisar três localidades distintas dentro do território nacional. As cidades selecionadas foram: Natal/Rio Grande do Norte (zona bioclimática 8), Brasília/Distrito Federal (zona bioclimática 4) e Florianópolis/Santa Catarina (zona bioclimática 3).

Para o cálculo desse consumo em cada cidade, foram feitas as seguintes considerações:

- Para Natal, assume-se que a chave do chuveiro ficará na posição desligada durante seis meses do ano, e nos outros seis a água será aquecida com a chave ligada na posição verão;

- Para Brasília, assume-se que a chave ficará três meses na posição desligada durante o verão, seis meses de água sendo aquecida com a chave na posição verão (outono e primavera) e três meses na posição inverno (durante o inverno);

- Para Florianópolis, assume-se que a água será aquecida com chave na posição inverno por nove meses (inverno, primavera e outono) e três meses na posição verão (durante o verão).

O impacto ambiental depende da porcentagem de contribuição das diferentes formas de produção de energia elétrica no país. SimaPro tem a base de dados para o Brasil, que é muito similar à matriz energética da seção 2.8 da revisão bibliográfica.

Infelizmente, o SimaPro não tem a base de dados para o cenário de disposição final do Brasil. Assim, foi considerado que a disposição final de 100% dos materiais é o aterro sanitário, uma vez que esse é o destino da grande maioria dos resíduos sólidos no Brasil.

No caso do aquecedor de passagem a gás, foi escolhido o Komeco Slim KO 12M (Figura 3.13). Como se trata de uma habitação popular para poucos habitantes, o modelo usado neste estudo tem um consumo máximo igual a 1,78m³/h de gás natural e mínimo de 1,12m³/h.

Tubulações de CPVC são usadas para distribuição de água quente para reduzir custos com instalação. Tubulações metálicas são usadas apenas para a distribuição de gás até o aparelho.

Neste sistema foi assumido gás natural como insumo para o aquecedor. Não se tem gasto com energia elétrica porque não existe sensor e nem ignição eletrônica no modelo escolhido. Assim, o fornecimento de energia elétrica é monofásico e as bitolas são menores.

Figura 3.13 – Aquecedor de passagem a gás selecionado (KOMECO, 2014)

Extração, transformação, manufatura, fornecimento e disposição final seguem os mesmos padrões do chuveiro elétrico. A diferença está na fase de uso.

Na fase de uso, o consumo de energia foi calculado de acordo com a Equação 4. O consumo de gás é obtido em informações técnicas do produto. O rendimento mínimo dos aquecedores a gás aceitos pelo INMETRO é 80%, e por isso esse número foi considerado como o rendimento do aquecedor a gás (INMETRO, 2014b).

$$E_{combustão} = \frac{C \times \Delta t}{R} \times M \qquad \text{(Equação 4)}$$

Onde:
$E_{combustão}$ = energia de combustão (MJ);
C = consumo de gás (m^3/h);
Δt = tempo de utilização (h);
R = rendimento;
M = MJ produzidos por $1m^3$ de gás natural = 38,7 (MJ/m^3).

Para o cálculo desse consumo em cada cidade, foram feitas as seguintes considerações referentes às regiões selecionadas:

- Para Natal, assume-se que o aquecedor fica desligado durante seis meses do ano, e nos outros seis a água será aquecida com consumo mínimo de gás.

- Para Brasília, assume-se que o aquecedor vai ficar três meses desligado durante o verão, seis meses de água aquecida com consumo mínimo de gás (outono e primavera) e três meses com consumo máximo de gás durante o inverno.

- Para Florianópolis, assume-se que á água será aquecida por nove meses com consumo máximo de gás (inverno, primavera e outono) e três meses com consumo mínimo de gás.

Como aquecimento solar com apoio elétrico para residência unifamiliar, optou-se por um aquecedor de água por termossifão sem a necessidade de bomba para circulação de água. Um reservatório térmico de 200 litros muito próximo aos painéis solares do telhado da casa também é parte do sistema. Assim, o sistema selecionado foi o Aquecedor Solar Compacto Heliotek (Figura 3.14), indicado em projeto da Casa Modular Fischer.

Figura 3.14 – Aquecedor solar selecionado (HELIOTEK, 2014)

Tubulações de cobre são usadas, uma vez que no sistema de aquecimento solar a temperatura da água quente pode exceder ao máximo suportado por tubulações de plástico.

O dimensionamento da área de coletores solares necessária é feita de acordo com a Equação 5:

$$A = \frac{Q}{I \times R} \qquad \text{(Equação 5)}$$

Onde:
A = área dos coletores;
I = irradiação solar, obtido com a média dos meses de inverno do programa Radiasol2 (kWh/m².dia);
Q = calor necessário, obtido com Equação 3 considerando a maior demanda (kWh/dia);
R = rendimento (média de 50% nos coletores aprovados pelo Inmetro).

A radiação solar é captada, convertida em calor e transferida para a água, que é direcionada ao reservatório. Em situações com diversos dias sem luz solar ou baixa radiação, um aquecedor auxiliar à eletricidade é ativado. Esse aquecedor consiste em uma resistência de 2000W localizada no interior do reservatório térmico.

O consumo de energia elétrica durante a fase de uso deste sistema será apenas o consumo dessa resistência para cobrir a demanda excedente à energia gerada pelo coletor solar durante um período nebuloso. Apesar do aumento da demanda de energia da casa, o fornecimento ainda é monofásico, mas foi necessário adicionar um circuito específico para alimentar a resistência do reservatório térmico.

Na fase de uso foi utilizada a Equação 5 para calcular a irradiação necessária para suprir a demanda de água quente da residência, e depois analisado no programa Radiasol 2 através de uma simulação anual para cada cidade se essa irradiação é atendida ou não.

$$I = \frac{Q}{A \times R} \qquad \text{(Equação 6)}$$

Onde:
I = irradiação solar (kWh/m².dia);
Q = calor necessário, obtido com Equação 3 (kWh/dia);
A = área dos coletores = 1m² (pré-dimensionamento Fischer);
R = rendimento (média de 50% nos coletores aprovados pelo Inmetro).

Quando a demanda não foi atingida, foi identificada a energia não suprida pelo sistema de aquecimento solar e pela Equação 6, pôde-se obter a contribuição estimada da resistência durante a vida útil do sistema.

$$C = \frac{E_a}{Et} \times 100 \qquad \text{(Equação 7)}$$

Onde:
C = contribuição do apoio elétrico (%)
E_a = energia não suprida pelo sistema de aquecimento solar (kWh);
E_t = demanda total de energia (kWh).

No caso do aquecedor solar para edificação multifamiliar, também optou-se por um sistema de aquecimento por termossifão. Dois reservatórios térmicos de 500 litros muito próximos aos painéis solares do telhado do prédio também são parte do sistema. Assim, o sistema selecionado foi o Aquecedor Solar para Banho Heliotek, conforme indicação no projeto do Prédio Modular Fischer (Figuras 3.15 e 3.16).

Figura 3.15 - Coletor solar selecionado (HELIOTEK, 2014)

Figura 3.16 - Reservatório selecionado (HELIOTEK, 2014)

O dimensionamento foi feito de mesma maneira que o da casa. Em situações com diversos dias sem luz solar ou baixa radiação, um aquecedor elétrico é ativado. Esse aquecedor consiste em uma resistência de 2500W (conforme estudos de pré-dimensionamento da Fischer) localizada no interior de cada reservatório térmico. O restante das considerações segue o mesmo padrão do inventário da casa.

Para o aquecimento elétrico por acumulação para o edifício multifamiliar, foi selecionado um Boiler Elétrico Horizontal Astrosol (Figura 3.17) de 1000 litros e 5000W (conforme estudos de pré-dimensionamento da Fischer) de potência máxima para atender a demanda de água quente do prédio. No modo economia de energia, para adaptar-se a períodos de menor demanda de energia para aquecimento de água, esse boiler trabalha a 2500W.

Figura 3.17 – Boiler elétrico selecionado (ASTROSOL, 2014)

Tubulações de CPVC são usadas para distribuição de água, o fornecimento de energia é bifásico e um circuito específico é necessário para alimentar o boiler.

O consumo de energia pode ser obtido pela Equação 3 com eficiência do boiler estimada em 80%, e as considerações sobre o consumo de acordo com as cidades são as mesmas do chuveiro elétrico, mudando apenas as potências máximas e mínimas.

Para o sistema de aquecimento a gás por acumulação, foi escolhida uma Central Térmica a Gás Astrosol (Figura 3.18) de 1000 litros, 4,9m³/h de consumo máximo de gás natural e 2m³/h de consumo mínimo (conforme estudos de pré-dimensionamento da Fischer).

Figura 3.18 - Boiler a gás selecionado (ASTROSOL, 2014)

O consumo de energia pode ser obtido pela Equação 4, e o cálculo do consumo conforme as cidades segue o mesmo padrão dos aquecedores de passagem a gás.

3.3.3. Avaliação de impacto

Neste estudo, os impactos foram computados usando o método "IPCC 2007 GWP 100a", que contém fatores de mudanças climáticas do IPCC com prazo de 100 anos. Este método inclui apenas a categoria "Mudanças Climáticas", que mede o Potencial de Aquecimento Global do sistema. Assim, todos os processos e materiais detalhados no inventário terão um determinado impacto em kg CO_2 eq, e o somatório destes valores será o impacto total do sistema (IPCC, 2013).

3.3.4. Interpretação

A interpretação é apresentada no capítulo 4 e se resume à comparação do impacto ambiental entre os sistemas. Os dados resultantes da análise serão importados do SimaPro e comparados entre si e com outros trabalhos. Vale ressaltar que a comparação com outros trabalhos será feita apenas com os resultados da casa, uma vez que esses trabalhos analisaram apenas este tipo de residência.

As comparações vão permitir a análise do conteúdo relacionado a aquecimento de água presente no RTQ-R e a elaboração de possíveis aprimoramentos no mesmo. Assim, será proposta uma sugestão de classificação de eficiência energética dos sistemas de aquecimento de água de acordo com os critérios julgados como essenciais com base nos resultados obtidos no capítulo 4. Os valores adotados dentro de cada critério foram assumidos de acordo com os valores utilizados no método e valores característicos de equipamentos presentes no mercado aprovados pelo Inmetro.

4. Resultados

4.1. Unidade funcional

A unidade funcional da Avaliação de Ciclo de Vida da casa é a produção de 2.803.200 litros de água quente a no mínimo 37°C em um período de 20 anos. O chuveiro, para suprir essa demanda precisa ser trocado uma vez e sua resistência trocada três vezes. No caso do prédio essa produção passa a ser de 44.851.200 litros, com 16 trocas de chuveiro e 48 trocas de resistência.

4.2. Dimensionamento de aquecedor solar

Os resultados do dimensionamento dos sistemas de aquecimento solar estão na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Dimensionamento dos sistemas de aquecimento solar

	Casa			Prédio		
	Florianópolis	**Brasília**	**Natal**	**Florianópolis**	**Brasília**	**Natal**
Q (kWh/dia)=	3,09	3,09	2,58	49,44	49,44	41,28
I (kWh/m².dia) =	3,00	4,67	4,67	3,00	4,67	4,67
A (m²) =	2,06	1,32	1,10	32,96	21,17	17,68

Para a Casa Modular, esse dimensionamento resultou em uma área entre 1,10m² e 2,06m², de acordo com cidade em estudo. Apesar dessa variação, foi usada uma placa coletora plana com área de 1m² conforme projeto da Irmãos Fisher S.A., uma vez que o investimento em sistemas mais complexos não é justificado pelo baixo padrão da residência. Além disso, vale ressaltar que a área de 1m² proporciona o aquecimento de água de boa parte da demanda durante o ano para o caso da Casa Modular Fischer com quatro habitantes nas diferentes cidades em estudo.

O dimensionamento do Prédio Modular resultou em áreas entre 17,68m² e 32,96m². Para este sistema, foram usadas 16 placas coletoras planas de 1,5m², com área total de 24m², conforme estudos de pré-dimensionamento da Fischer. Coincidentemente, 24m² é a média das áreas das 3 cidades em estudo. Decidiu-se usar a mesma área para todas as cidades em estudo pelo Prédio Modular ser um produto com componentes pré-definidos. Além disso, vale ressaltar que a área de 24m² proporciona o aquecimento de água de boa parte da demanda durante o ano para a edificação nas diferentes cidades em estudo.

4.3. Inventário

As Tabelas 4.2 e 4.3 mostram o resumo dos resultados do inventário do chuveiro elétrico para a casa e para o prédio, respectivamente. Pode-se verificar que cobre e ferro são os minerais mais utilizados na produção, e por isso estão presentes em quantidade bastante significativa na fase de extração. É necessário, também, muito petróleo para a produção de PVC utilizado principalmente nas tubulações. Alguns minerais são presentes em menores quantidades mas devem ser levados em consideração por ter um possível impacto significativo no meio ambiente. Na fase de manufatura se destaca a moldagem do PVC.

No fornecimento pode-se perceber que Natal tem quantidade maior que Florianópolis e Brasília, uma vez que se tem uma concentração maior de indústrias nas regiões mais ao sul. A disposição final é alocada 100% para aterro sanitário.

Para a fase de uso, vê-se um consumo de energia muito maior em Florianópolis do que Natal. Isso se dá pelo fato de Florianópolis estar em uma região mais fria e ter o acionamento do chuveiro elétrico em potência máxima por grande parte do ano. Brasília tem um consumo intermediário entre Florianópolis e Natal.

Os resultados do inventário do aquecedor de passagem a gás estão nas Tabelas 4.4 e 4.5. Cobre e ferro são os minerais mais utilizados na produção do sistema em uma proporção ainda maior que no chuveiro elétrico. Isso se dá não apenas pelo aparelho em si ser um equipamento maior e mais complexo, mas também por precisar de uma rede de tubulação específica para o gás. Zinco também está presente em uma quantidade significativa, e alumínio e bauxita em quantidades menores. PVC se destaca na transformação e manufatura. Para fornecimento, uso e disposição final valem as mesmas considerações do chuveiro elétrico.

Nas Tabelas 4.6 e 4.7 encontram-se os resultados do inventário do aquecedor solar com apoio elétrico. Cobre é o mineral mais utilizado na produção, seguido de bauxita e alumínio. Ferro e cassiterita também são usados em quantidades significativas. Alguns materiais da transformação são específicos para esse tipo de sistema, como é o caso da fibra de vidro e do polietileno expandido, materiais isolantes, e do próprio vidro. Apesar de ter uma quantidade menor que nos outros sistemas, o PVC ainda tem uma contribuição muito grande tanto na transformação (petróleo) quanto na manufatura (moldagem).

Fornecimento e disposição final seguem os mesmos padrões dos outros sistemas. A fase de uso é que tem as suas peculiaridades. Aplicando a Equação 3 dos métodos para a demanda de calor em cada cidade, chegou-se a conclusão que para Natal a energia necessária é 2,58 kWh/dia no inverno e outono, Brasília 3,09 kWh/dia no inverno e 2,58 kWh/dia no outono e primavera, e Florianópolis 3,09 kWh/dia no outono, primavera e inverno, e 2,58 kWh/dia no verão. Aplicando a Equação 5, chega-se na demanda irradiação solar de 6,18 kWh/m².dia para Q = 3,09 kWh/dia e 5,16 kWh/m².dia para Q = 2,58 kWh/dia. Esses resultados são apresentados na Tabela 4.8.

Essa demanda é comparada mês a mês com a irradiação média real calculada no Radiasol 2 e apresentada nas Figuras 4.1, 4.2 e 4.3. Quando a demanda de energia não é atingida, identifica-se a energia não suprida pelo sistema de aquecimento solar, e a soma dessas energias equivale à contribuição da resistência elétrica. Pela Equação 6, para Natal, estimou-se que o apoio elétrico é responsável por 3% da demanda de água quente, com Brasília 10% e Florianópolis 25%, conforme Tabela 4.9.

Aplicando o mesmo procedimento para o prédio, chega-se aos resultados mostrados nas Figuras 4.4, 4.5 e 4.6 e nas Tabelas 4.10 e 4.11. A contribuição de 1% para Natal e Brasília é aplicada apenas para cobrir os dias nublados, porque de acordo com os gráficos, o sistema de aquecimento solar cobre 100% da demanda de energia.

As Tabelas 4.12 e 4.13 mostram o resumo do inventário dos sistemas de acumulação para o prédio (boiler elétrico e a gás, respectivamente). As informações seguem os mesmos padrões dos sistemas anteriores.

Tabela 4.2 - Inventário do chuveiro elétrico da casa

Extração		
Material	**SimaPro**	**Peso (kg/un.)**
Cobre	Copper, primary, at refinary	242,00
Ferro	Iron ore, 46% Fe, at mine	10,80
Niquel	Nickel, 99.5%, at plant	4,00
Cromita	Chromite, ore concentrate, at beneficiation	1,60
Transformação		
Material	**SimaPro**	**Peso (kg/un.)**
Cobre eletrolítico	Copper, concentrate, at beneficiation	2,10
Ferro beneficiado	Iron ore, 65% Fe, at beneficiation	6,50
Aço	Steel, low-alloyed, at plant	6,50
Petróleo refinado para PVC	PVC (suspension polymerisation) E	631,10
Níquel eletrolítico	Nickel, secondary, from scrap recycling	0,10
Cromo	Chromium, at regional storage	0,02
Liga da resistência	Iron-nickel-chromium allow, at plant	0,03
Manufatura		
Processo	**SimaPro**	**Peso (kg/un.)**
Fio de cobre	Wire drawing, copper	2,00
Moldagem do PVC	Injection moulding	600,00
Moldagem da resistência	Metal working machine operation	0,03
Fornecimento		
Transporte	**SimaPro**	**t.km**
Transporte Natal	Transport, lorry 16-32t, EURO3	210
Transporte Brasília	Transport, lorry 16-32t, EURO3	100
Transporte Florianópolis	Transport, lorry 16-32t, EURO3	110
Uso (total ao longo de 20 anos)		
Insumo	**SimaPro**	**kWh**
Eletricidade Natal	Electricity, low voltage, at grid/BR	9426
Eletricidade Brasília	Electricity, low voltage, at grid/BR	15061
Eletricidade Florianópolis	Electricity, low voltage, at grid/BR	20956
Disposição Final		
Tipo	**SimaPro**	**Alocação**
Aterro sanitário	Landfill/CH	100%

Nota: A terminologia para materiais e processos utilizados no SimaPro foi mantida em inglês conforme consta no programa. Os valores mostrados são válidos para uma unidade funcional (un).

Tabela 4.3 - Inventário do chuveiro elétrico do prédio

Extração		
Material	**SimaPro**	**Peso (kg/un.)**
Cobre	Copper, primary, at refinary	3883,13
Ferro	Iron ore, 46% Fe, at mine	142,00
Niquel	Nickel, 99.5%, at plant	64,00
Cromita	Chromite, ore concentrate, at beneficiation	25,60
Transformação		
Material	**SimaPro**	**Peso (kg/un.)**
Cobre eletrolítico	Copper, concentrate, at beneficiation	33,70
Ferro beneficiado	Iron ore, 65% Fe, at beneficiation	85,50
Aço	Steel, low-alloyed, at plant	85,50
Petróleo refinado para PVC	PVC (suspension polymerisation) E	13676,80
Niquel eletrolítico	Nickel, secondary, from scrap recycling	25,60
Cromo	Chromium, at regional storage	0,82
Liga da resistência	Iron-nickel-chromium allow, at plant	0,48
Manufatura		
Processo	**SimaPro**	**Peso (kg/un.)**
Fio de cobre	Wire drawing, copper	32,00
Moldagem do PVC	Injection moulding	7056,00
Moldagem da resistência	Metal working machine operation	0,48
Fornecimento		
Transporte	**SimaPro**	**t.km**
Transporte Natal	Transport, lorry 16-32t, EURO3	454
Transporte Brasilia	Transport, lorry 16-32t, EURO3	216
Transporte Florianópolis	Transport, lorry 16-32t, EURO3	216
Uso (total ao longo de 20 anos)		
Insumo	**SimaPro**	**kWh**
Eletricidade Natal	Electricity, low voltage, at grid/BR	150816
Eletricidade Brasília	Electricity, low voltage, at grid/BR	240976
Eletricidade Florianópolis	Electricity, low voltage, at grid/BR	335312
Disposição Final		
Tipo	**SimaPro**	**Alocação**
Aterro sanitário	Landfill/CH	100%

Nota: A terminologia para materiais e processos utilizados no SimaPro foi mantida em inglês conforme consta no programa. Os valores mostrados são válidos para uma unidade funcional (un).

Tabela 4.4 - Inventário do aquecedor de passagem a gás da casa

Extração		
Material	**SimaPro**	**Peso (kg/un.)**
Cobre	Copper, primary, at refinary	666,38
Ferro	Iron ore, 46% Fe, at mine	57,81
Zinco	Zinc, primary, at regional storage	13,44
Alumina	Alumina, at plant	0,98
Bauxita	Bauxite, at mine	2,46
Transformação		
Material	**SimaPro**	**Peso (kg/un.)**
Cobre eletrolítico	Copper, concentrate, at beneficiation	5,04
Bronze	Brass, at plant	0,47
Ferro beneficiado	Iron ore, 65% Fe, at beneficiation	35,80
Aço	Steel, low-alloyed, at plant	35,80
Petróleo refinado para PVC	PVC (suspension polymerisation) E	592,88
Alumínio	Aluminium, primary, liquid, at plant	0,49
Manufatura		
Processo	**SimaPro**	**Peso (kg/un.)**
Fio de cobre	Wire drawing, copper	1,50
Moldagem de PVC	Injection moulding	550,00
Metais no aquecedor	Metal working machine operation	11,70
Fornecimento		
Transporte	**SimaPro**	**t.km**
Transporte Natal	Transport, lorry 16-32t, EURO3	205
Transporte Brasília	Transport, lorry 16-32t, EURO3	98
Transporte Florianópolis	Transport, lorry 16-32t, EURO3	100
Uso (total ao longo de 20 anos)		
Insumo	**SimaPro**	**MJ**
Gás natural Natal	Heat, natural gas, at boiler modulating<100kW	105471
Gás natural Brasília	Heat, natural gas, at boiler modulating<100kW	189282
Gás natural Florianópolis	Heat, natural gas, at boiler modulating<100kW	304169
Disposição final		
Tipo	**SimaPro**	**Alocação**
Aterro sanitário	Landfill/CH	100%

Nota: A terminologia para materiais e processos utilizados no SimaPro foi mantida em inglês conforme consta no programa. Os valores mostrados na são válidos para uma unidade funcional (un).

Tabela 4.5 - Inventário do aquecedor de passagem a gás do prédio

Extração		
Material	**SimaPro**	**Peso (kg/un)**
Cobre	Copper, primary, at refinary	10678,60
Ferro	Iron ore, 46% Fe, at mine	760,00
Zinco	Zinc, primary, at regional storage	218,00
Alumina	Alumina, at plant	15,68
Bauxita	Bauxite, at mine	39,36
Transformação		
Material	**SimaPro**	**Peso (kg/un)**
Cobre eletrolítico	Copper, concentrate, at beneficiation	92,70
Bronze	Brass, at plant	7,52
Ferro beneficiado	Iron ore, 65% Fe, at beneficiation	450,60
Aço	Steel, low-alloyed, at plant	450,60
Petróleo refinado para PVC	PVC (suspension polymerisation) E	12306,40
Alumínio	Aluminium, primary, liquid, at plant	7,84
Manufatura		
Processo	**SimaPro**	**Peso (kg/un)**
Fio de cobre	Wire drawing, copper	82,00
Moldagem de PVC	Injection moulding	6350,00
Metais dentro do aquecedor	Metal working machine operation	187,20
Fornecimento		
Transporte	**SimaPro**	**t.km**
Transporte Natal	Transport, lorry 16-32t, EURO3	542
Transporte Brasilia	Transport, lorry 16-32t, EURO3	212
Transporte Florianópolis	Transport, lorry 16-32t, EURO3	216
Uso (total ao longo de 20 anos)		
Insumo	**SimaPro**	**MJ**
Gás natural Natal	Heat, natural gas, at boiler modulating<100kW	1687530
Gás natural Brasília	Heat, natural gas, at boiler modulating<100kW	3028507
Gás natural Florianópolis	Heat, natural gas, at boiler modulating<100kW	4866702
Disposição final		
Tipo	**SimaPro**	**Alocação**
Aterro sanitário	Landfill/CH	100%

Nota: A terminologia para materiais e processos utilizados no SimaPro foi mantida em inglês conforme consta no programa. Os valores mostrados são válidos para uma unidade funcional (un).

Tabela 4.6 - Inventário do aquecedor solar com apoio elétrico da casa

Extração		
Material	**SimaPro**	**Peso (kg/un.)**
Cobre	Copper, primary, at refinary	2473,32
Ferro	Iron ore, 46% Fe, at mine	4,82
Cassiterita	Tin, at regional storage	16,75
Alumina	Alumina, at plant	17,02
Bauxita	Bauxite, at mine	42,55
Transformação		
Material	**SimaPro**	**Peso (kg/un.)**
Cobre eletrolítico	Copper, concentrate, at beneficiation	22,03
Ferro beneficiado	Iron ore, 65% Fe, at beneficiation	2,92
Aço	Steel, low-alloyed, at plant	2,92
Petróleo refinado para PVC	PVC (suspension polymerisation) E	498,16
Fibra de vidro	Glass wool mat, at plant	3,30
Vidro	Flat glass, uncoated, at plant	10,10
Polietileno expandido	Fleece, polyethylene, at plant	2,38
Alumínio	Aluminium, primary, liquid, at plant	8,51
Manufatura		
Processo	**SimaPro**	**Peso (kg/un.)**
Fio de cobre	Wire drawing, copper	1,50
Moldagem de PVC	Injection moulding	470,00
Metais no sistema	Metal working machine operation	73,00
Fornecimento		
Transporte	**SimaPro**	**t.km**
Eletricidade Natal	Transport, lorry 16-32t, EURO3	203
Eletricidade Brasília	Transport, lorry 16-32t, EURO3	93
Eletricidade Florianópolis	Transport, lorry 16-32t, EURO3	97
Uso (total ao longo de 20 anos)		
Insumo	**SimaPro**	**kWh**
Eletricidade Natal	Electricity, low voltage, at grid/BR	283
Eletricidade Brasília	Electricity, low voltage, at grid/BR	1506
Eletricidade Florianópolis	Electricity, low voltage, at grid/BR	5239
Disposição Final		
Tipo	**SimaPro**	**Alocação**
Aterro sanitário	Landfill/CH	100%

Nota: A terminologia dos processos utilizados no SimaPro foi mantida em inglês conforme consta no programa. Os valores mostrados são válidos para uma unidade funcional (un).

Tabela 4.7 - Inventário do aquecedor solar com apoio elétrico do prédio

Extração		
Material	**SimaPro**	**Peso (kg/un.)**
Cobre	Copper, primary, at refinary	31634,40
Ferro	Iron ore, 46% Fe, at mine	59,36
Cassiterita	Tin, at regional storage	167,50
Alumina	Alumina, at plant	170,20
Bauxita	Bauxite, at mine	425,50
Transformação		
Material	**SimaPro**	**Peso (kg/un.)**
Cobre eletrolítico	Copper, concentrate, at beneficiation	274,60
Ferro beneficiado	Iron ore, 65% Fe, at beneficiation	3,56
Aço	Steel, low-alloyed, at plant	3,56
Petróleo refinado para PVC	PVC (suspension polymerisation) E	10340,30
Fibra de vidro	Glass wool mat, at plant	33,00
Vidro	Flat glass, uncoated, at plant	101,00
Polietileno expandido	Fleece, polyethylene, at plant	23,80
Alumínio	Aluminium, primary, liquid, at plant	85,10
Manufatura		
Processo	**SimaPro**	**Peso (kg/un.)**
Fio de cobre	Wire drawing, copper	15,00
Moldagem de PVC	Injection moulding	5335,50
Metais no sistema	Metal working machine operation	250,00
Fornecimento		
Transporte	**SimaPro**	**t.km**
Transporte Natal	Transport, lorry 16-32t, EURO3	439
Transporte Brasilia	Transport, lorry 16-32t, EURO3	200
Transporte Florianópolis	Transport, lorry 16-32t, EURO3	210
Uso (total ao longo de 20 anos)		
Insumo	**SimaPro**	**kWh**
Eletricidade Natal	Electricity, low voltage, at grid/BR	1508
Eletricidade Brasília	Electricity, low voltage, at grid/BR	2410
Eletricidade Florianópolis	Electricity, low voltage, at grid/BR	26825
Disposição Final		
Tipo	**SimaPro**	**Alocação**
Aterro sanitário	Landfill/CH	100%

Nota: A terminologia dos processos utilizados no SimaPro foi mantida em inglês conforme consta no programa. Os valores mostrados são válidos para uma unidade funcional (un).

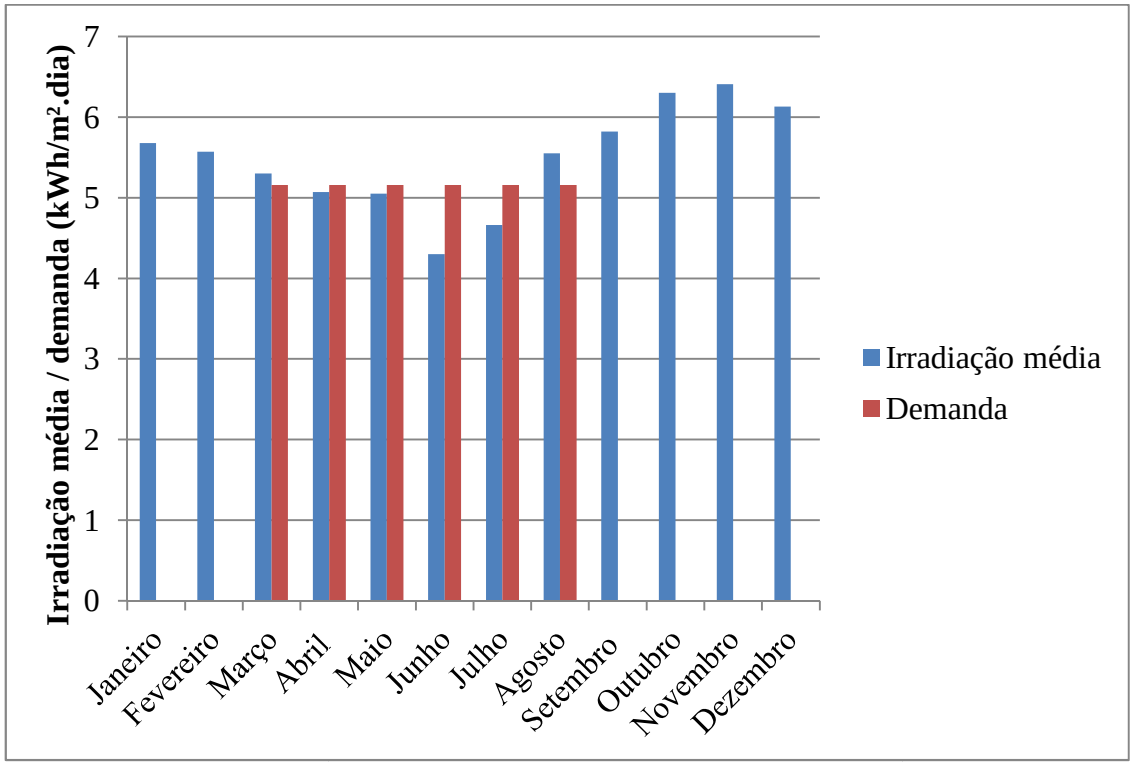

Figura 4.1 - Demanda e irradiação solar média mensal disponível para a casa em Natal (RADIASOL 2)

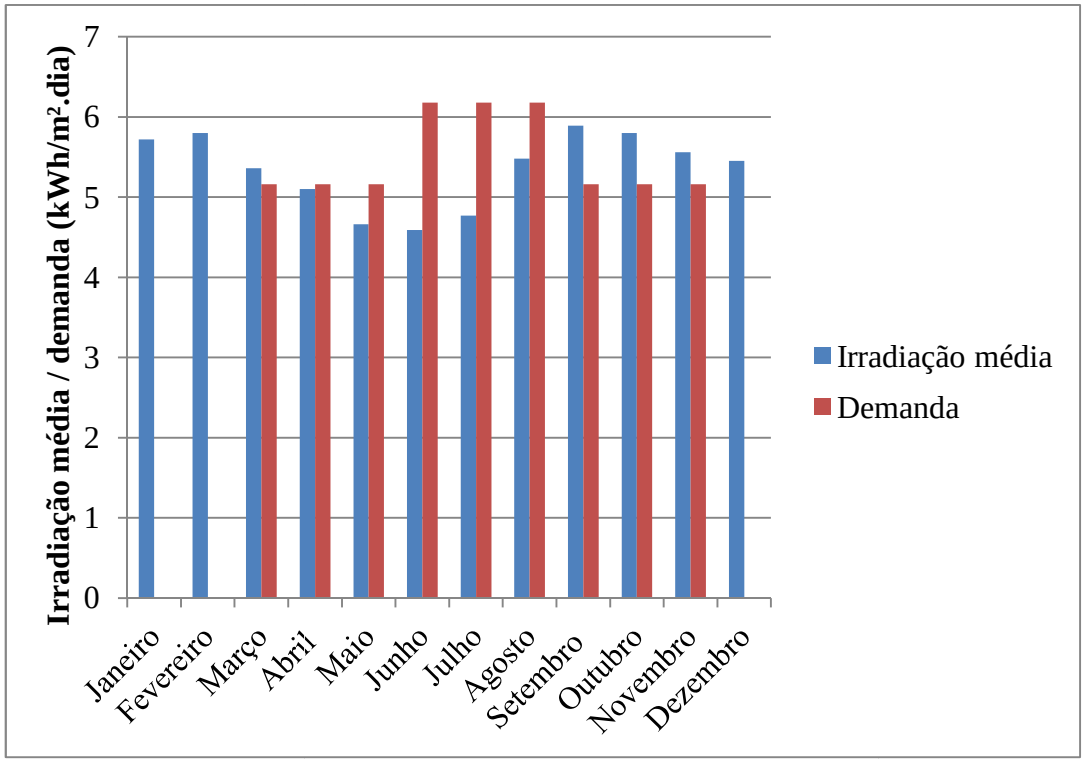

Figura 4.2 - Demanda e irradiação solar média mensal disponível para a casa em Brasília (RADIASOL 2)

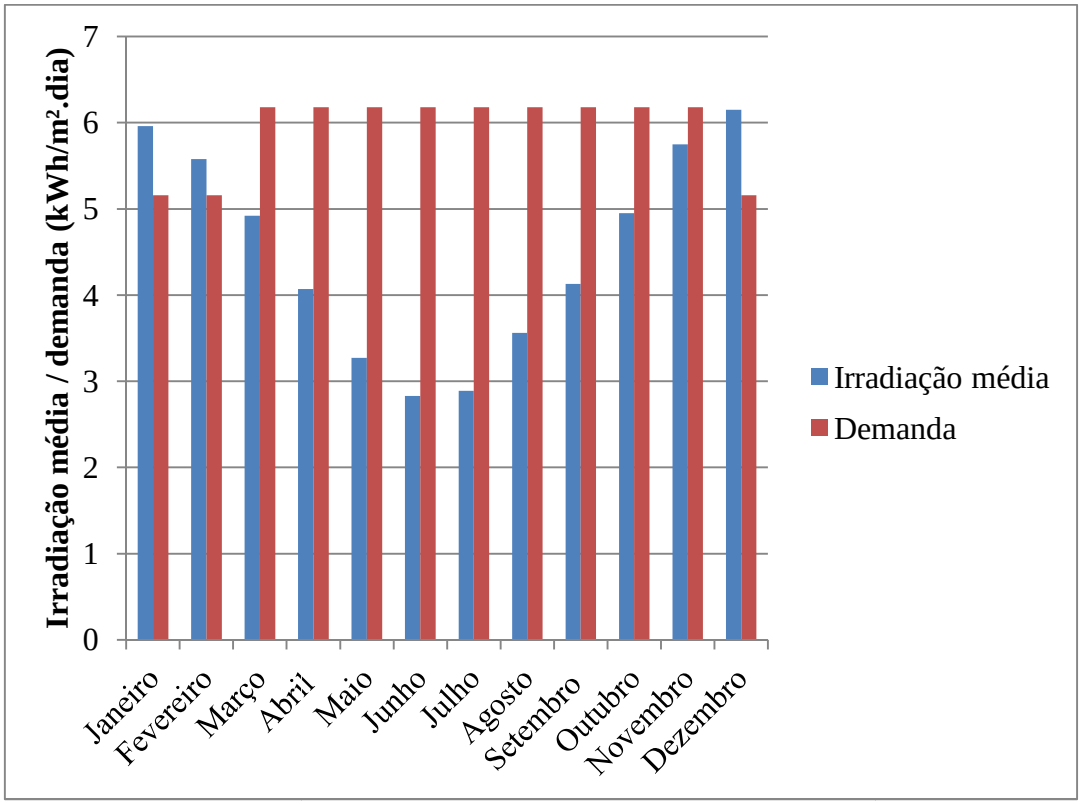

Figura 4.3 – Demanda e irradiação solar média mensal disponível para a casa em Florianópolis (RADIASOL 2)

Tabela 4.8 - Demanda de energia e irradiação da casa durante o ano

Demanda de energia (kWh/dia)				
Cidade	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Natal	-	2,58	2,58	-
Brasília	-	2,58	3,09	2,58
Florianópolis	2,58	3,09	3,09	3,09
Demanda de irradiação (kWh/m².dia)				
Cidade	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Natal	-	5,16	5,16	-
Brasília	-	5,16	6,18	5,16
Florianópolis	5,16	6,18	6,18	6,18

Tabela 4.9 – Contribuição do apoio elétrico para a casa

Cidade	Contribuição do apoio elétrico (%)
Natal	3
Brasília	10
Florianópolis	25

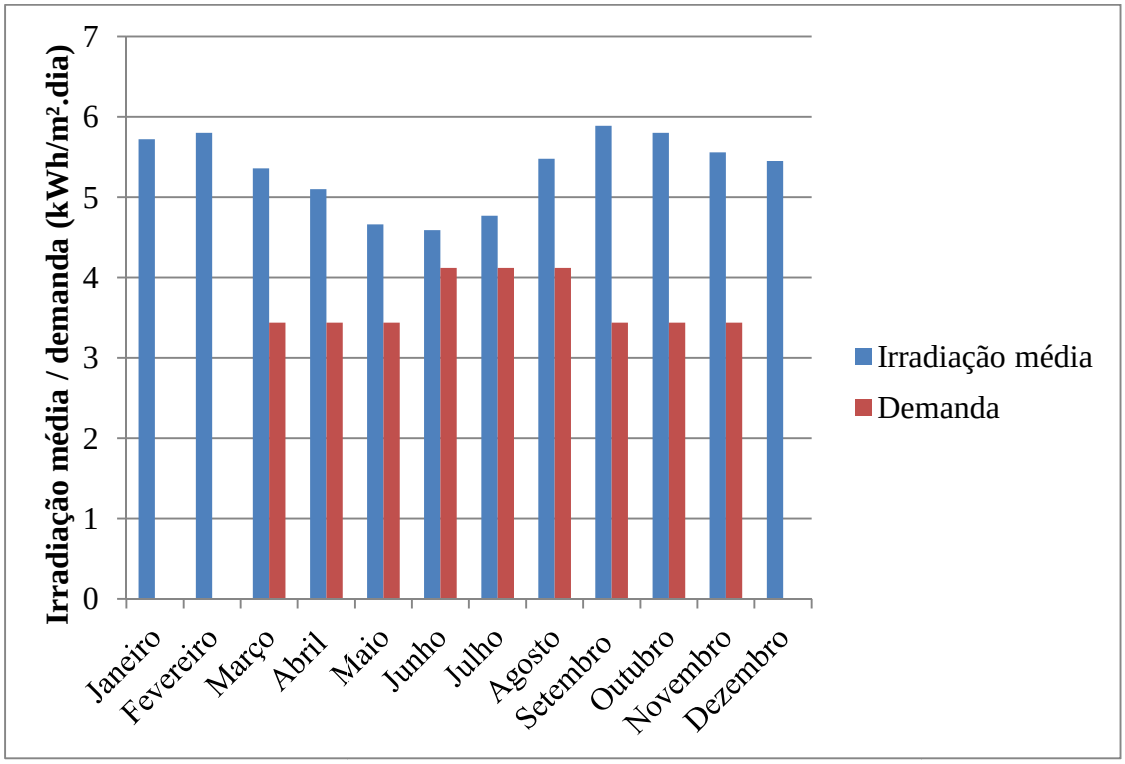

Figura 4.4 - Demanda e irradiação solar média mensal disponível para o prédio em Natal (RADIASOL 2)

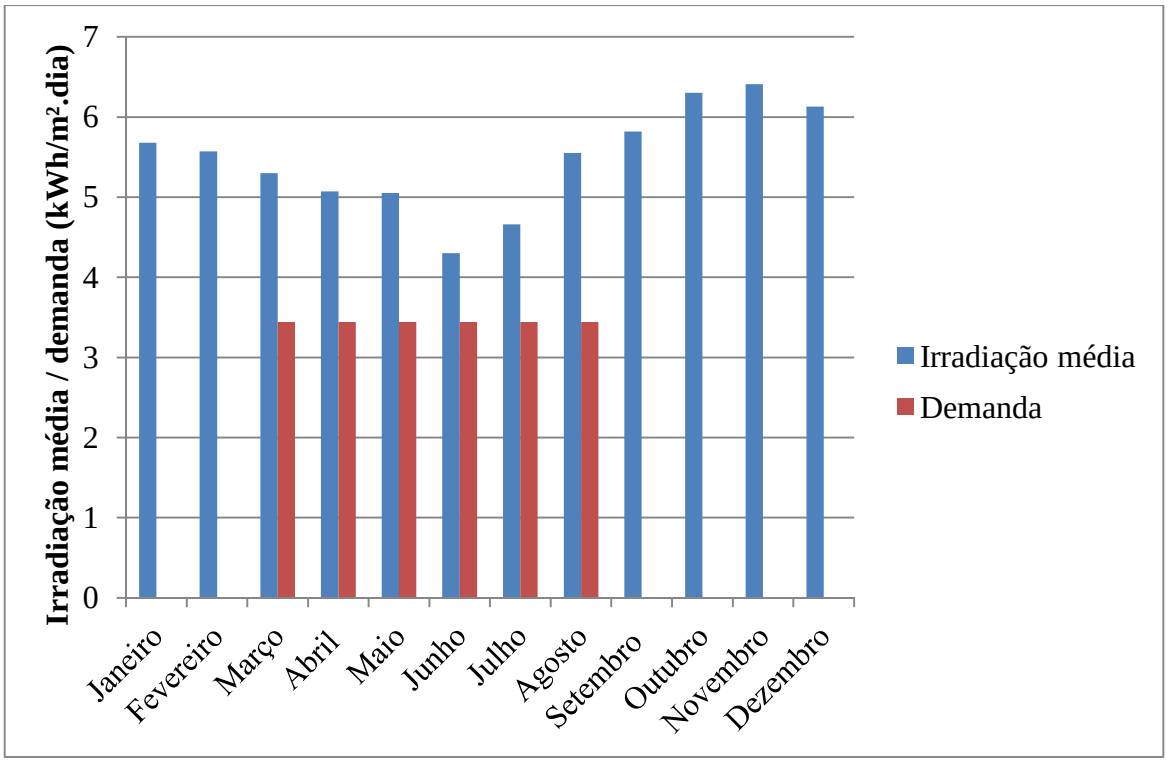

Figura 4.5 - Demanda e irradiação solar média mensal disponível para o prédio em Brasília (RADIASOL 2)

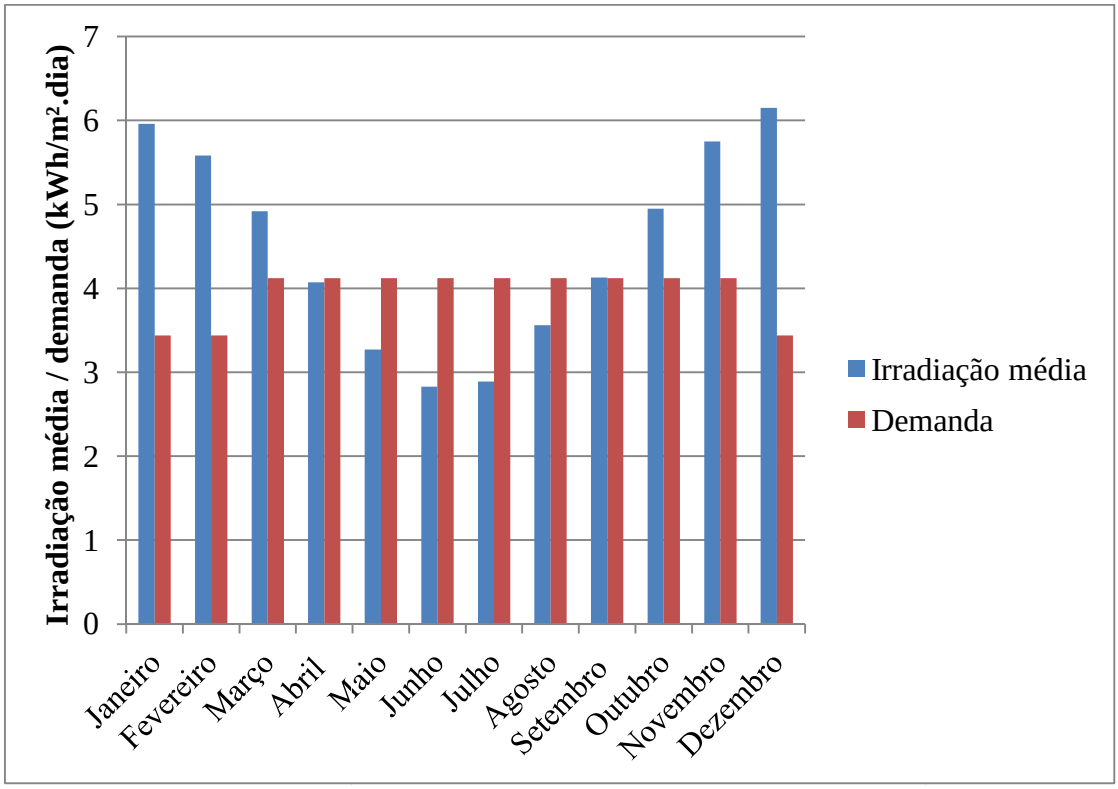

Figura 4.6 - Demanda e irradiação solar média mensal disponível para o prédio em Florianópolis (RADIASOL 2)

Tabela 4.10 - Demanda de energia e irradiação do prédio durante o ano

Demanda de energia (kWh/dia)				
Cidade	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Natal	-	41,28	41,28	-
Brasília	-	41,28	49,44	41,28
Florianópolis	41,28	49,44	49,44	49,44
Demanda Irradiação (kWh/m².dia)				
Cidade	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Natal	-	3,44	3,44	-
Brasília	-	3,44	4,12	3,44
Florianópolis	3,44	4,12	4,12	4,12

Tabela 4.11 - Contribuição do apoio elétrico para o prédio

Cidade	Contribuição do apoio elétrico (%)
Natal	1
Brasília	1
Florianópolis	8

Tabela 4.12 - Inventário do boiler elétrico do prédio

Extração		
Material	**SimaPro**	**Peso (kg/un)**
Cobre	Copper, primary, at refinary	10678,60
Ferro	Iron ore, 46% Fe, at mine	760,00
Alumina	Alumina, at plant	15,68
Bauxita	Bauxite, at mine	39,36
Material	**SimaPro**	**Peso (kg/un)**
Cobre eletrolítico	Copper, concentrate, at beneficiation	33,70
Ferro beneficiado	Iron ore, 65% Fe, at beneficiation	85,50
Aço	Steel, low-alloyed, at plant	85,50
Petróleo refinado para PVC	PVC (suspension polymerisation) E	13676,80
Polietileno expandido	Fleece, polyethylene, at plant	23,80
Alumínio	Aluminium, primary, liquid, at plant	85,10
Manufatura		
Processo	**SimaPro**	**Peso (kg/un)**
Fio de cobre	Wire drawing, copper	15,00
Moldagem de PVC	Injection moulding	5335,50
Metais no sistema	Metal working machine operation	150,00
Fornecimento		
Transporte	**SimaPro**	**t.km**
Transporte Natal	Transport, lorry 16-32t, EURO3	420
Transporte Brasilia	Transport, lorry 16-32t, EURO3	180
Transporte Florianópolis	Transport, lorry 16-32t, EURO3	185
Uso (total ao longo de 20 anos)		
Insumo	**SimaPro**	**kWh**
Eletricidade Natal	Electricity, low voltage, at grid/BR	97333
Eletricidade Brasília	Electricity, low voltage, at grid/BR	194667
Eletricidade Florianópolis	Electricity, low voltage, at grid/BR	340667
Disposição Final		
Tipo	**SimaPro**	**Alocação**
Aterro sanitário	Landfill/CH	100%

Nota: A terminologia para materiais e processos utilizados no SimaPro foi mantida em inglês conforme consta no programa. Os valores mostrados são válidos para uma unidade funcional (un).

Tabela 4.13 - Inventário do boiler a gás do prédio

Extração		
Material	**SimaPro**	**Peso (kg/un)**
Cobre	Copper, primary, at refinary	19561,60
Ferro	Iron ore, 46% Fe, at mine	35,50
Alumina	Alumina, at plant	105,60
Bauxita	Bauxite, at mine	221,80
Transformação		
Material	**SimaPro**	**Peso (kg/un)**
Cobre eletrolítico	Copper, concentrate, at beneficiation	170,00
Ferro beneficiado	Iron ore, 65% Fe, at beneficiation	2,13
Aço	Steel, low-alloyed, at plant	2,13
Petróleo refinado para PVC	PVC (suspension polymerisation) E	10340,30
Polietileno expandido	Fleece, polyethylene, at plant	23,80
Alumínio	Aluminium, primary, liquid, at plant	52,80
Manufatura		
Processo	**SimaPro**	**Peso (kg/un)**
Fio de cobre	Wire drawing, copper	15,00
Moldagem de PVC	Injection moulding	5335,50
Metais no sistema	Metal working machine operation	150,00
Fornecimento		
Transporte	**SimaPro**	**t.km**
Transporte Natal	Transport, lorry 16-32t, EURO3	425
Transporte Brasilia	Transport, lorry 16-32t, EURO3	185
Transporte Florianópolis	Transport, lorry 16-32t, EURO3	190
Uso (total ao longo de 20 anos)		
Insumo	**SimaPro**	**MJ**
Gás natural Natal	Heat, natural gas, at boiler modulating<100kW	3013440
Gás natural Brasília	Heat, natural gas, at boiler modulating<100kW	6704904
Gás natural Florianópolis	Heat, natural gas, at boiler modulating<100kW	12581112
Disposição Final		
Tipo	**SimaPro**	**Alocação**
Aterro sanitário	Landfill/CH	100%

Nota: A terminologia para materiais e processos utilizados no SimaPro foi mantida em inglês conforme consta no programa. Os valores mostrados são válidos para uma unidade funcional (un).

4.4. Avaliação de impacto

Os diagramas de fluxo de cada sistema de aquecimento encontrados no Apêndice B mostram todos os elementos e processos do ciclo de vida do sistema para cada cidade. Tais diagramas mostram apenas as atividades com impacto maior que 1% para melhor visualização.

As Tabelas 4.14 e 4.15 resumem os impactos ambientais em kg CO_2 equivalentes causados pelo chuveiro elétrico em cada cidade. A fase de uso impacta de 43,0% (Natal) a 62,8% (Florianópolis) do total na casa e 62,1% a 78,5% no prédio, seguida por transformação com 18,1 % (Florianópolis) a 27,7% (Natal) na casa e 12,8% a 22,5% no prédio, extração com 8,4% (Florianópolis) a 12,9% (Natal) na casa e 4,4% a 7,8% no prédio, manufatura com 8,4% (Florianópolis) a 12,9% (Natal) na casa e 3,2% a 5,7% no prédio, disposição final com 1,8% (Florianópolis) a 2,8% (Natal) e 1,0 a 1,8% no prédio, e fornecimento com menos de 1% (Figura 4.7). Vale ressaltar que extração, transformação, manufatura e disposição final têm os mesmos valores para as três cidades porque essas etapas não variam com a localização. Brasília tem valores intermediários a Florianópolis e Natal em questão de contribuição em %.

Pode-se observar que a fase de uso é a responsável pela maior parte do impacto, e que em Florianópolis o impacto é maior, justamente por ter uma contribuição bastante alta na fase de uso. Em Florianópolis, por ser mais frio, a demanda de energia para aquecer água é maior. Brasília é onde o impacto é o segundo maior com 82% do impacto gerado em Florianópolis para a casa e 78% para o prédio, e o menor impacto foi em Natal com 66% do impacto de Florianópolis para a casa e 57% para o prédio.

Tabela 4.14 - Resumo dos impactos causados pelo chuveiro elétrico para a casa

Potencial de aquecimento global						
Fase	**Natal**		**Brasília**		**Florianópolis**	
	kg CO_2 eq	**%**	**kg CO_2 eq**	**%**	**kg CO_2 eq**	**%**
Extração	802	12,9	802	10,3	802	8,4
Transformação	1720	27,7	1720	22,0	1720	18,1
Manufatura	801	12,9	801	10,2	801	8,4
Fornecimento	39	0,6	19	0,2	20	0,2
Uso	2670	43,0	4270	54,8	5940	62,8
Disposição Final	175	2,8	175	2,2	175	1,8
Total	6207	100	7787	100	9458	100

Tabela 4.15 - Resumo dos impactos causados pelo chuveiro elétrico para o prédio

Potencial de aquecimento global						
Fase	**Natal**		**Brasília**		**Florianópolis**	
	kg CO2 eq	**%**	**kg CO2 eq**	**%**	**kg CO2 eq**	**%**
Extração	12900	7,8	12900	5,7	12900	4,4
Transformação	37300	22,5	37300	16,4	37300	12,8
Manufatura	9420	5,7	9420	4,1	9420	3,2
Fornecimento	83,8	0,1	39,9	0,0	39,9	0,0
Uso	103000	62,1	165000	72,5	229000	78,5
Disposição Final	3030	1,8	3030	1,3	3030	1,0
Total	165734	100	227690	100	291690	100

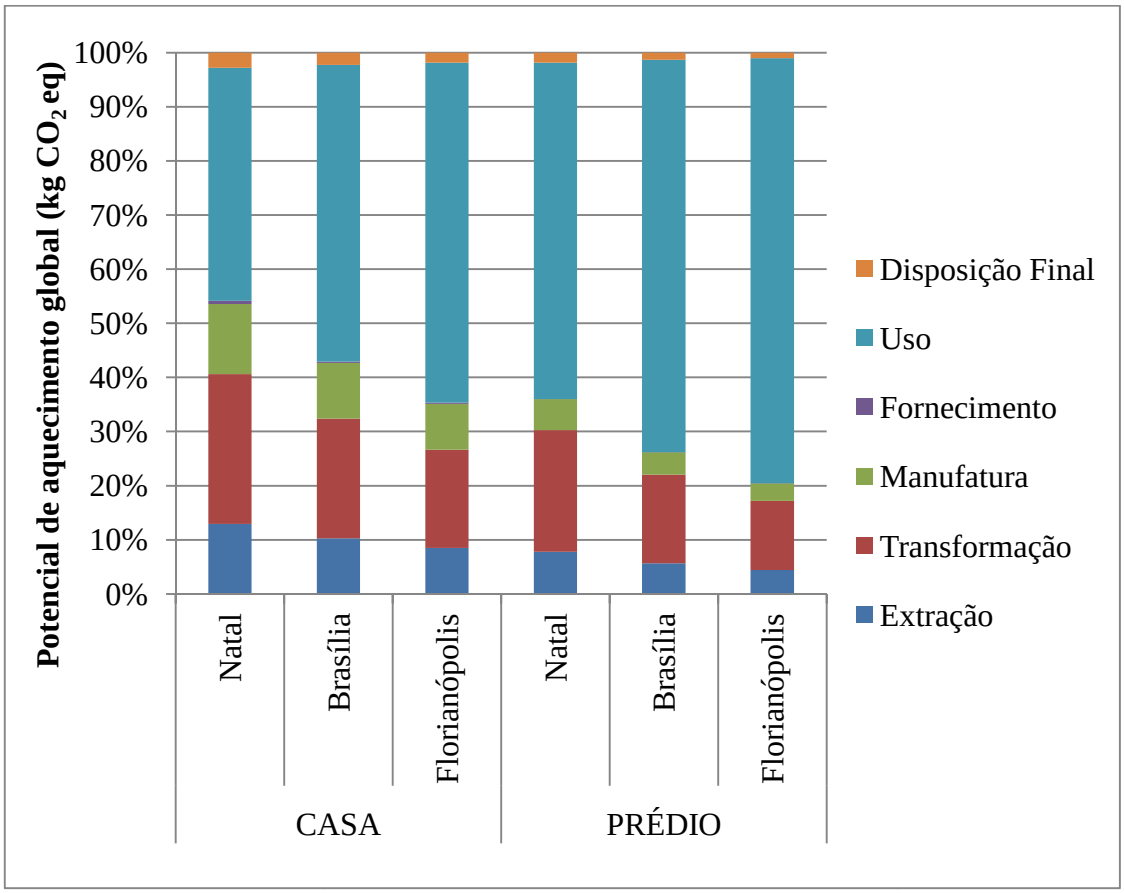

Figura 4.7 - Caracterização do chuveiro elétrico

Como a fase de uso aparece como maior contribuinte do impacto total em todos os sistemas, sugere-se que a classificação do chuveiro elétrico no RTQ-R seja baseada na potência do aparelho, como já acontece, e no rendimento do aparelho. Além disso, como as cidades estudadas tem impacto significativamente diferente, sugere-se que a classificação seja regionalizada, que no regulamento atual é ainda muito genérica.

Um resumo dos impactos causados pelo aquecedor de passagem a gás em cada cidade é apresentado nas Tabelas 4.16 e 4.17. Em Natal, a fase de uso contribui com 61,5% do impacto total na casa e 60,6% no prédio, seguida por extração com 16,3% na casa e 16,1% no prédio, transformação com 12,8% na casa e 16,2% no prédio, manufatura com 5,7% na casa e 4,1% no prédio, disposição final com 3,2% na casa e 3,0% no prédio, e fornecimento com menos de 1%. Em Brasília e Florianópolis esse padrão de configuração se repete com um pouco mais de impacto para o uso, e menos para as outras etapas, como se pode observar na Figura 4.8.

Tabela 4.16 - Resumo dos impactos causados pelo aquecedor de passagem a gás para a casa

Potencial de aquecimento global						
Fase	**Natal**		**Brasília**		**Florianópolis**	
	kg CO_2 eq	**%**	**kg CO_2 eq**	**%**	**kg CO_2 eq**	**%**
Extração	2130	16,3	2130	10,9	2130	7,5
Transformação	1680	12,8	1680	8,6	1680	5,9
Manufatura	747	5,7	747	3,8	747	2,6
Fornecimento	37,9	0,2	18,1	0,0	18,5	0,0
Uso	8040	61,5	14400	74,2	23200	82,2
Disposição Final	429	3,2	429	2,2	429	1,5
Total	13064	100	19404	100	28205	100

Tabela 4.17 - Resumo dos impactos causados pelo aquecedor de passagem a gás para o prédio

Potencial de aquecimento global						
Fase	**Natal**		**Brasília**		**Florianópolis**	
	kg CO2 eq	**%**	**kg CO2 eq**	**%**	**kg CO2 eq**	**%**
Extração	34200	16,1	34200	10,9	34200	7,5
Transformação	34400	16,2	34400	10,9	34400	7,6
Manufatura	8710	4,1	8710	2,8	8710	1,9
Fornecimento	100	0,0	39,2	0,0	39,9	0,0
Uso	129000	60,6	231000	73,4	371000	81,6
Disposição Final	6290	3,0	6290	2,0	6290	1,4
Total	212700	100	314639	100	454640	100

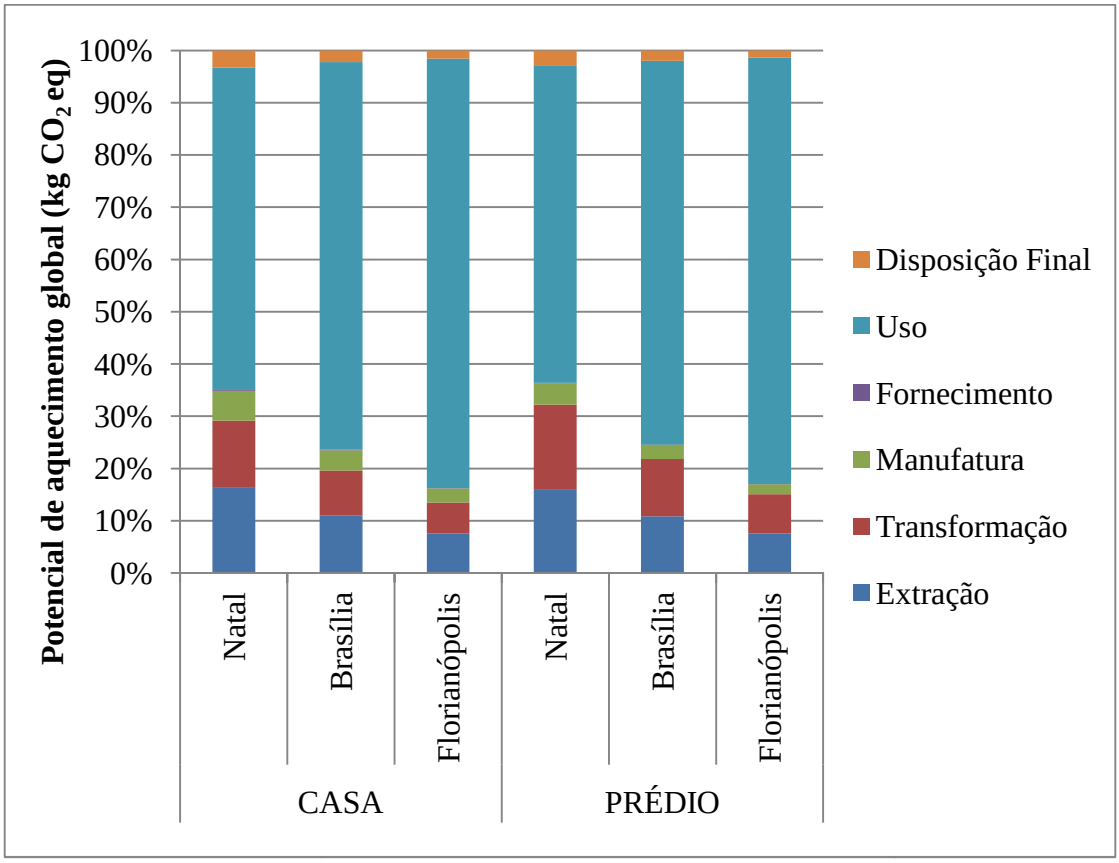

Figura 4.8 - Caracterização do aquecedor de passagem a gás

Florianópolis tem o maior impacto entre as cidades estudadas, seguida de Brasília com 69% do impacto gerado em Florianópolis, e Natal com 47%. Como o uso é o maior contribuinte e existem diferenças entre as regiões estudadas, sugere-se um procedimento semelhante ao do chuveiro elétrico para classificar os aquecedores de passagem a gás no RTQ-R. Assim, esses devem ser avaliados pelo consumo de gás e pelo rendimento.

As Tabelas 4.18 e 4.19 mostram o resumo dos impactos ambientais causados pelo aquecedor solar com apoio elétrico em cada cidade. Neste caso a configuração de contribuição de cada fase é bem diferente das vistas nos sistemas anteriores, uma vez que o aquecedor solar tem um processo de fabricação muito mais complexo que os outros.

Como pode ser visualizado na Figura 4.9, em Florianópolis extração contribui com 62,0% na casa e 58,5% no prédio, transformação com 10,7% na casa e 16,9% no prédio, uso com 11,4% na casa e 10,5% no prédio, disposição final com 10,1% na casa e 9,7% no prédio, manufatura com 5,4% na casa e 4,3% no prédio, e fornecimento com menos de 1%. Em Brasília e Natal repete-se esse padrão com um pouco menos de impacto para o uso, e mais para as outras etapas.

Tabela 4.18 - Resumo dos impactos causados pelo aquecedor solar com apoio elétrico para a casa

Potencial de aquecimento global						
Fase	**Natal**		**Brasília**		**Florianópolis**	
	kg CO_2 eq	**%**	**kg CO_2 eq**	**%**	**kg CO_2 eq**	**%**
Extração	8060	69,5	8060	67,6	8060	62,0
Transformação	1390	11,9	1390	11,6	1390	10,7
Manufatura	706	6,0	706	5,9	706	5,4
Fornecimento	37,5	0,3	17,2	0,1	17,9	0,1
Uso	80,2	0,6	427	3,5	1490	11,4
Disposição Final	1320	11,3	1320	11,0	1320	10,1
Total	11594	100	11920	100	12984	100

Tabela 4.19 - Resumo dos impactos causados pelo aquecedor solar com apoio elétrico para o prédio

Potencial de aquecimento global						
Fase	**Natal**		**Brasília**		**Florianópolis**	
	kg CO2 eq	**%**	**kg CO2 eq**	**%**	**kg CO2 eq**	**%**
Extração	102000	64,9	102000	64,7	102000	58,5
Transformação	29400	18,7	29400	18,6	29400	16,9
Manufatura	7580	4,8	7580	4,8	7580	4,3
Fornecimento	81,1	0,1	36,9	0,0	38,8	0,0
Uso	1030	0,7	1650	1,0	18400	10,5
Disposição Final	17000	10,8	17000	10,8	17000	9,7
Total	157091	100	157667	100	174419	100

Florianópolis tem o maior impacto entre as cidades estudadas, enquanto Brasília e Natal têm cerca de 90% do impacto gerado em Florianópolis. Pode-se observar que a diferença de impacto entre as cidades não é tão acentuada como nos casos anteriores. Isso se deve ao fato de as fases de fabricação (extração, transformação e manufatura), que são iguais independentemente da região, terem um impacto bem superior à etapa de uso.

Como as etapas de produção são as maiores contribuintes para o impacto total, sugere-se que a classificação seja dada em função da qualidade do fabricante. Para isso, deveria ocorrer uma análise do processo de fabricação dos equipamentos de cada fornecedor para avaliar medidas sustentáveis de contenção de emissões ou economia de insumos.

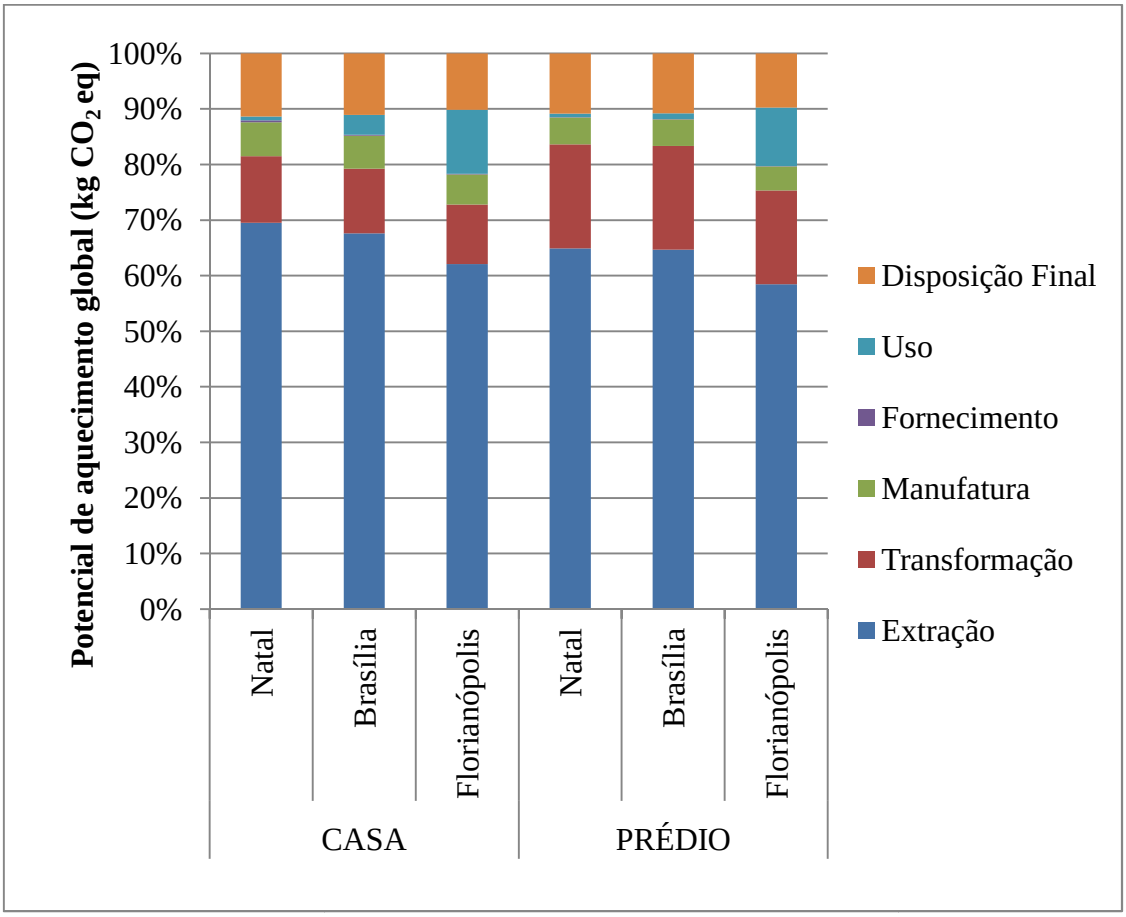

Figura 4.9 - Caracterização do aquecedor solar com apoio elétrico

Não houve grandes diferenças entre os impactos encontrados para cada cidade, não justificando uma classificação de eficiência energética por região. Mas vale ressaltar que nesse estudo, devido a questões de inviabilidade de investimentos maiores para a edificação em questão, o sistema de aquecimento solar é o mesmo para todas as regiões. Teoricamente, se deveria dimensionar um sistema para cada situação e depois fazer a análise. Neste caso as etapas de extração, transformação e manufatura não seriam iguais e o uso seria otimizado. Nessas condições uma classificação por região provavelmente seria necessária.

Um resumo dos impactos causados pelo boiler elétrico e a gás para o prédio em cada cidade é apresentado nas Tabelas 4.20 e 4.21, respectivamente. Estes sistemas causam impactos muito similares em todas as fases, exceto uso. Na fase de uso, o boiler a gás tem um impacto consideravelmente maior.

Em Brasília, o uso é o maior contribuinte com 54,1% do impacto total do boiler elétrico e 82,6% do boiler a gás, seguido por extração com 26,6% e 9,9%, transformação com 11,7% e 4,6%, disposição final com 4,6% e 1,7%, manufatura com 3,0% e 1,2% e fornecimento com menos de 1% (Figura 4.10). Essa configuração se repete com mais de contribuição de uso para Florianópolis e menos para Natal.

O maior impacto entre as cidade é o de Florianópolis, seguido de Brasília com 71% do impacto gerado em Florianópolis para o boiler elétrico e 58% para o boiler a gás, e Natal com 52% e 32%, respectivamente.

No caso do boiler elétrico, pode-se perceber que as etapas de produção tem um impacto quase equivalente a etapa de uso, e por isso, sugere-se que a classificação no RTQ-R seja feita não só em função da potência, rendimento e localização geográfica, mas também da qualidade do fornecedor, como citado no caso do aquecedor solar. No boiler a gás isso não se repete, e por isso, sugere-se que a classificação seja feita de acordo com consumo de gás, rendimento e localização geográfica.

Tabela 4.20 - Resumo dos impactos causados pelo boiler elétrico para o prédio

Potencial de aquecimento global						
Fase	**Natal**		**Brasília**		**Florianópolis**	
	kg CO2 eq	**%**	**kg CO2 eq**	**%**	**kg CO2 eq**	**%**
Extração	65300	36,4	65300	26,6	65300	18,9
Transformação	28800	16,0	28800	11,7	28800	8,3
Manufatura	7390	4,1	7390	3,0	7390	2,1
Fornecimento	77,6	0,0	33,2	0,0	34,2	0,0
Uso	66600	37,1	133000	54,1	233000	67,4
Disposição Final	11300	6,3	11300	4,6	11300	3,3
Total	179468	100	245823	100	345824	100

Tabela 4.21 - Resumo dos impactos causados pelo boiler a gás para o prédio

Potencial de aquecimento global						
Fase	**Natal**		**Brasília**		**Florianópolis**	
	kg CO2 eq	**%**	**kg CO2 eq**	**%**	**kg CO2 eq**	**%**
Extração	61400	18,1	61400	9,9	61400	5,8
Transformação	28800	8,5	28800	4,6	28800	2,7
Manufatura	7390	2,2	7390	1,2	7390	0,7
Fornecimento	78,5	0,0	34,2	0,0	35,1	0,0
Uso	230000	68,0	515000	82,6	959000	89,9
Disposição Final	10700	3,2	10700	1,7	10700	1,0
Total	338369	100	623324	100	1067325	100

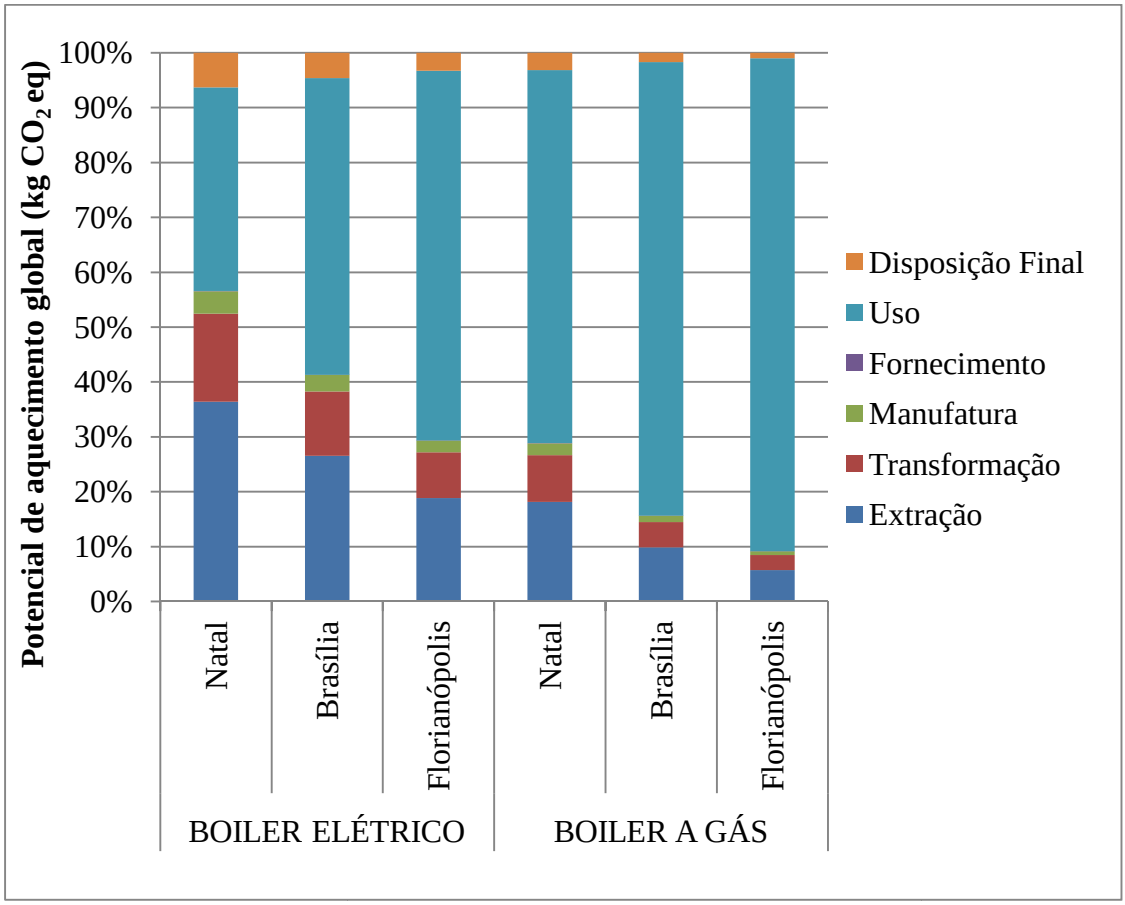

Figura 4.10 - Caracterização do boiler elétrico e a gás para o prédio

4.5. Interpretação

As Figuras 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14 mostram um resumo das Avaliações de Ciclo de Vida realizadas, proporcionando uma visualização geral e permitindo uma análise e comparação crítica entre as alternativas. Na Figura 4.11, pode-se encontrar o potencial de aquecimento global em kg CO_2 eq de cada sistema da casa para cada região, assim como a contribuição de cada etapa no impacto geral. A Figura 4.12 traz as mesmas informações, mas em %. As Figuras 4.13 e 4.14 trazem as mesmas informações, mas para o caso do prédio.

Para a Casa Modular Fischer, o aquecedor de passagem a gás teve o maior impacto em todas as cidades, seguido do aquecedor solar com apoio elétrico com 89% (em Natal), 62% (em Brasília) e 46% (em Florianópolis) do impacto do aquecedor a gás. O chuveiro elétrico apresentou o menor impacto e mostrou-se a melhor alternativa para as três cidades considerando o potencial de aquecimento global. Este impacto representa 47% (em Natal), 40% (em Brasília) e 34% (em Florianópolis) do impacto do aquecedor a gás.

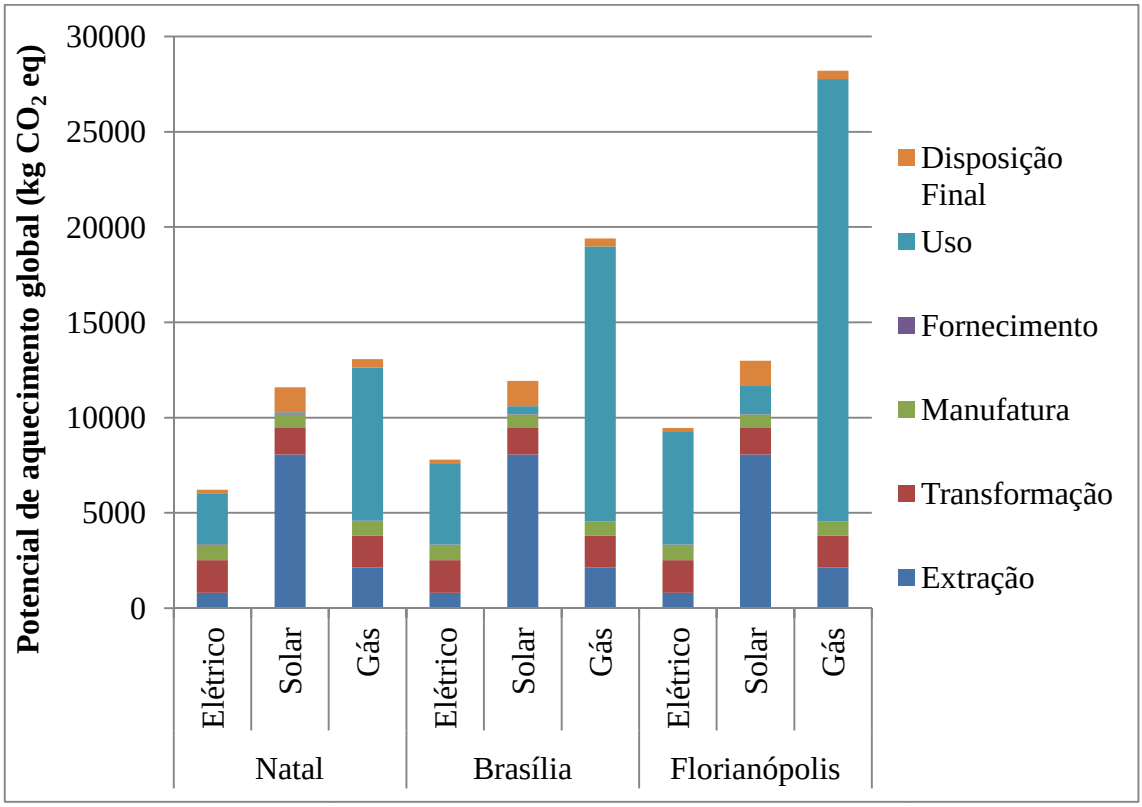

Figura 4.11 - Resumo geral para a casa em kg CO_2 eq

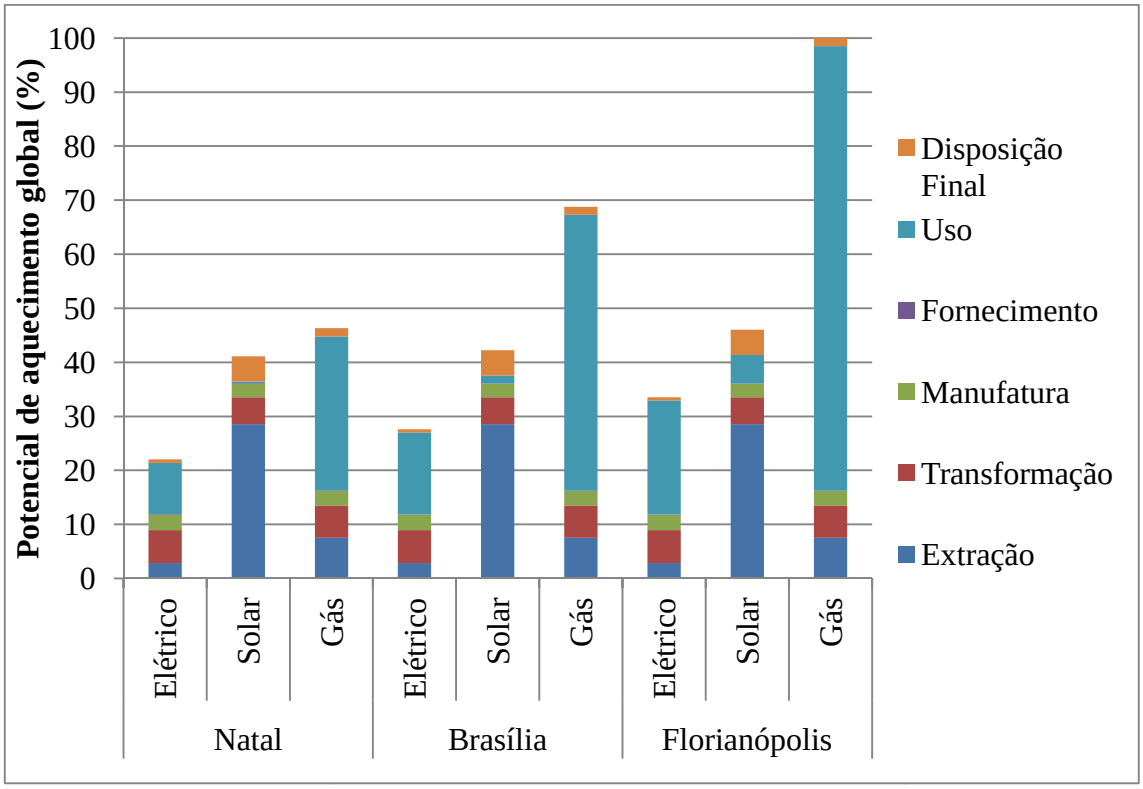

Figura 4.12 - Resumo geral para a casa em %

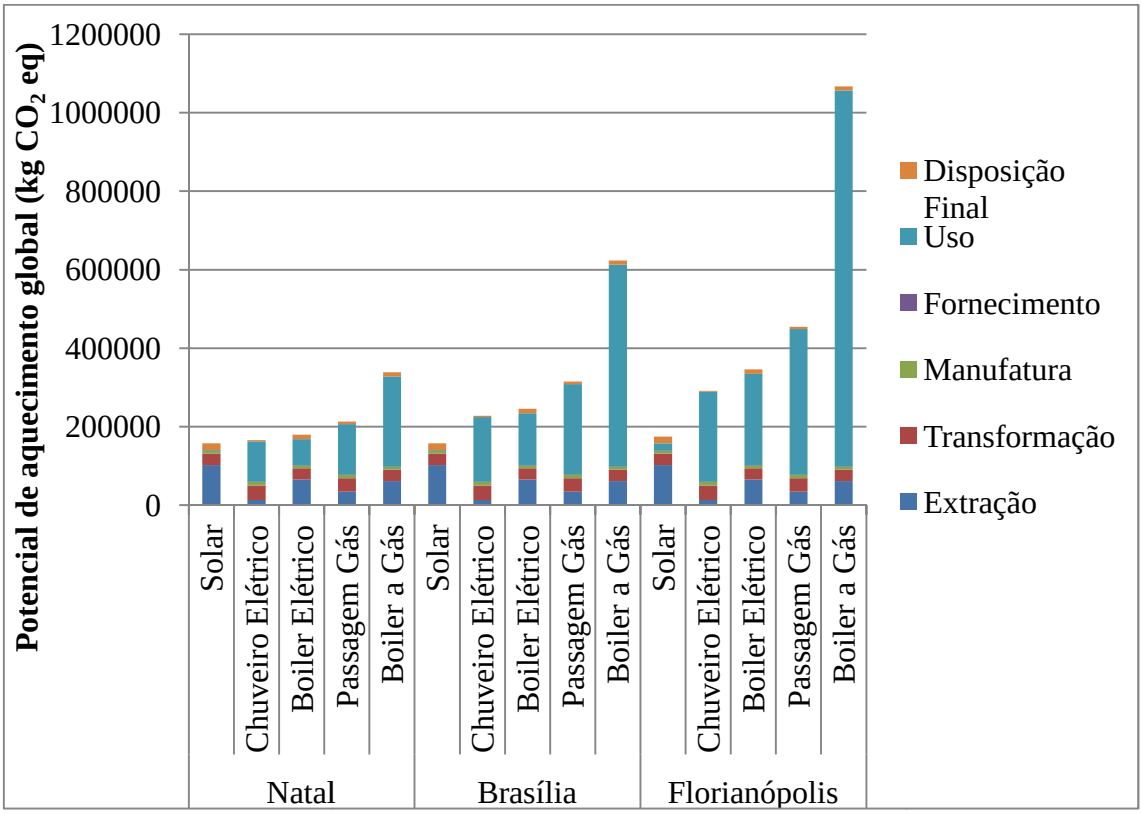

Figura 4.13 - Resumo geral para o prédio em kg CO_2 eq

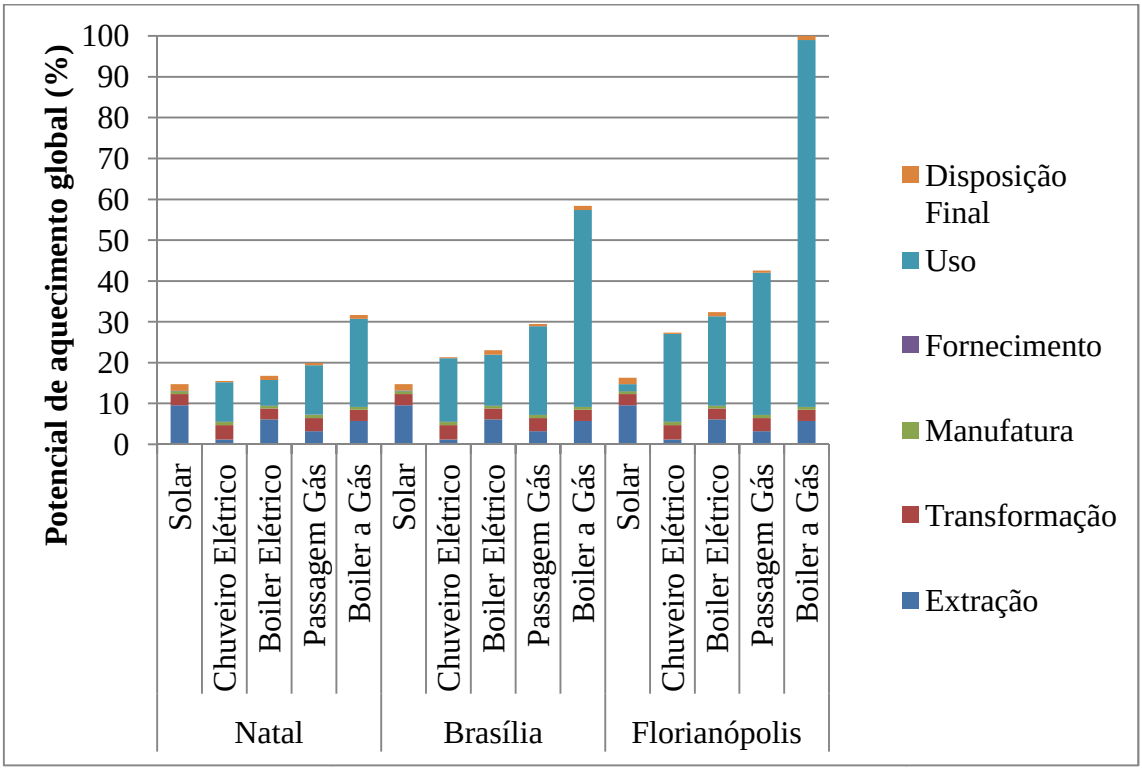

Figura 4.14 - Resumo geral para o prédio em %

Pode-se perceber que o impacto do aquecedor solar é consideravelmente maior do que o impacto do chuveiro elétrico em Natal, com chuveiro elétrico representando 54% do impacto do aquecedor solar. Em Brasília essa diferença diminui um pouco e chega a 73% em Florianópolis, sugerindo que a utilização de aquecedores solares é mais indicada em regiões mais afastadas da Linha do Equador, onde o clima é mais frio e a demanda de água quente é maior.

No caso do Prédio Modular Fischer, o sistema mais impactante em todas as cidades foi o boiler a gás, seguido do aquecedor de passagem a gás com 63% (em Natal), 50% (em Brasília), e 43% (em Florianópolis), boiler elétrico com 53%, 39% e 32%, e o chuveiro elétrico com 49%, 37% e 27%. O aquecedor solar com apoio elétrico mostrou-se a melhor alternativa para as três cidades com 46% (em Natal), 25% (em Brasília) e 16% (em Florianópolis) do impacto causado pelo boiler a gás.

Considerando apenas a energia utilizada na fase de uso, tem-se os resultados mostrados nas Figuras 4.15 e 4.16. Como já era esperado, o sistema de aquecimento solar é o que utiliza menos energia nesta fase, uma vez que grande parte da demanda de energia é suprida pela energia solar.

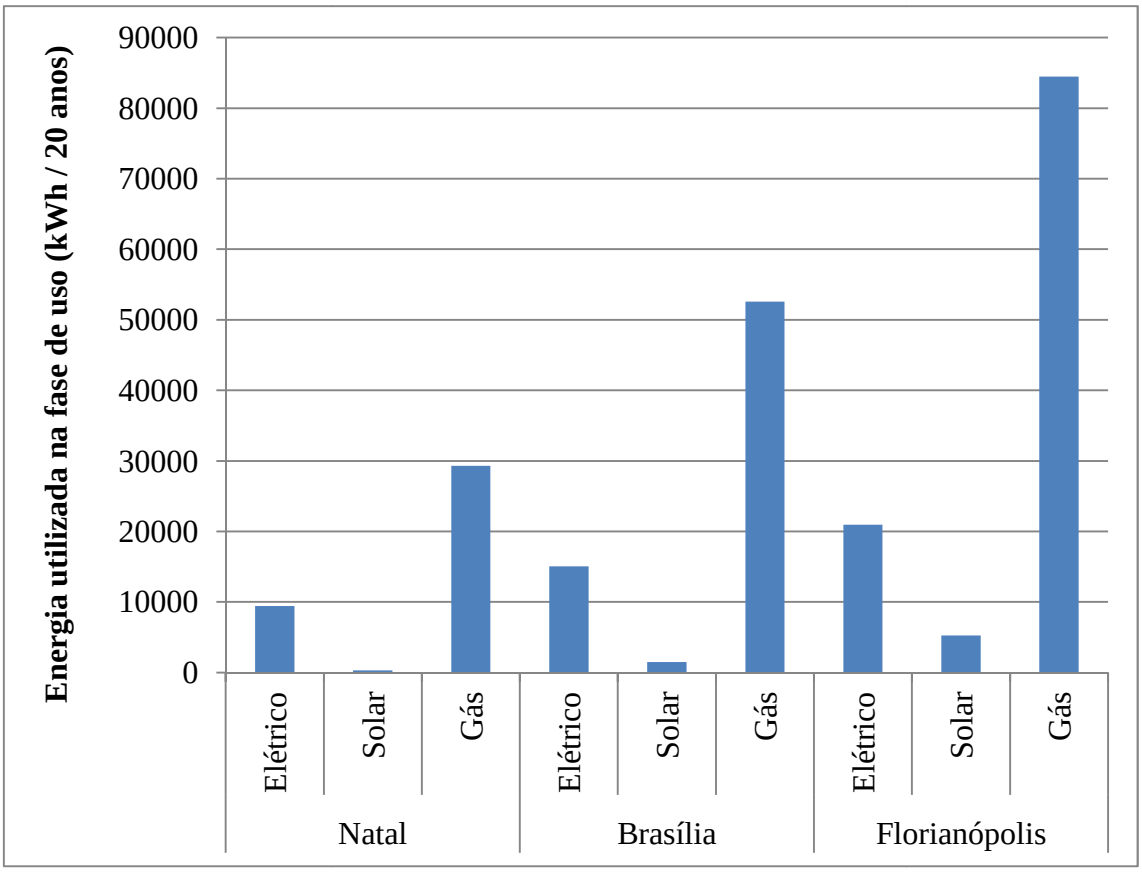

Figura 4.15 – Energia utilizada por cada sistema na fase de uso da casa em kWh

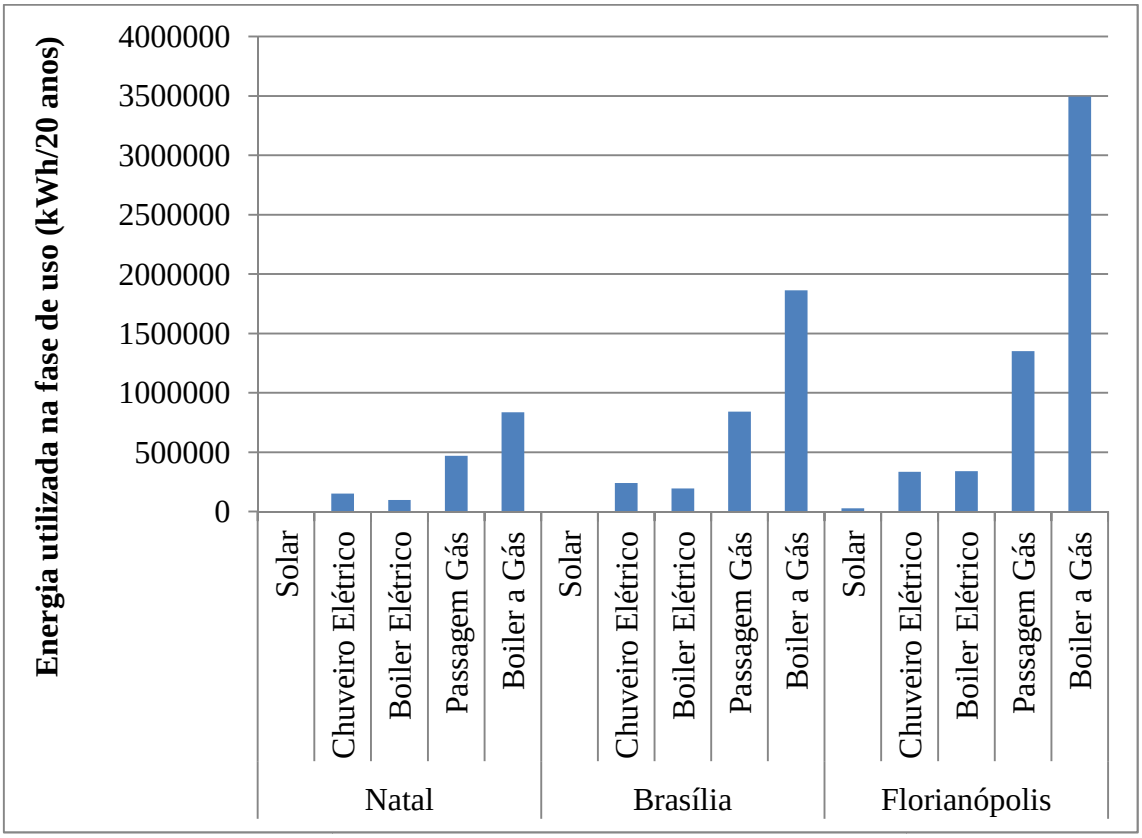

Figura 4.16 - Energia utilizada por cada sistema na fase de uso do prédio em kWh

4.6. Comparação com outros estudos

A Figura 4.17 mostra uma comparação dos resultados obtidos nessa pesquisa com os resultados alcançados por Tsilingiridis et al. (2004). Pode-se verificar que o impacto causado pelo sistema de aquecimento solar com apoio elétrico é similar nas pesquisas (cerca de 30%). Os impactos de gás natural e chuveiro elétrico é que são opostos. Em Tsilingiridis et al. (2004) gás natural é o menos impactante com pouco mais de 15% e chuveiro elétrico é o mais impactante com quase 55%. Vale ressaltar que Tsilingiridis et al. (2004) é um estudo grego e que a Grécia não tem a mesma matriz energética do Brasil, sendo essa a provável causa das diferenças das pesquisas.

O estudo de Taborianski (2002) teve objetivos semelhantes ao dessa pesquisa e até foi fonte de dados para ela. A Figura 4.18 mostra os resultados encontrados em cada trabalho. Em Taborianski (2002) o chuveiro elétrico é o mais impactante, seguido por aquecimento solar, e o menos impactante é o a gás, enquanto o presente estudo tem o gás como mais impactante, seguido por solar, e chuveiro elétrico tem o menor impacto. Como maiores diferenças entre as pesquisas pode-se citar o fato de Taborianski (2002) não ter feito uso de ferramentas computacionais e ter conduzido apenas para São Paulo.

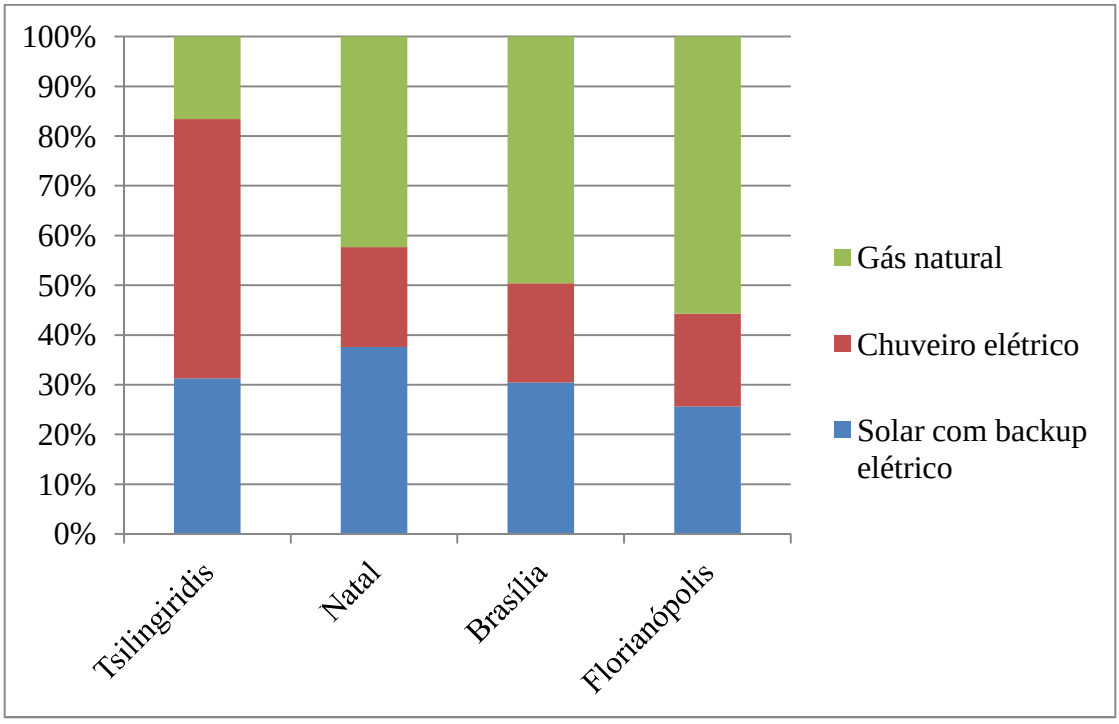

Figura 4.17 – Comparação com Tsilingiridis et al. (2004)

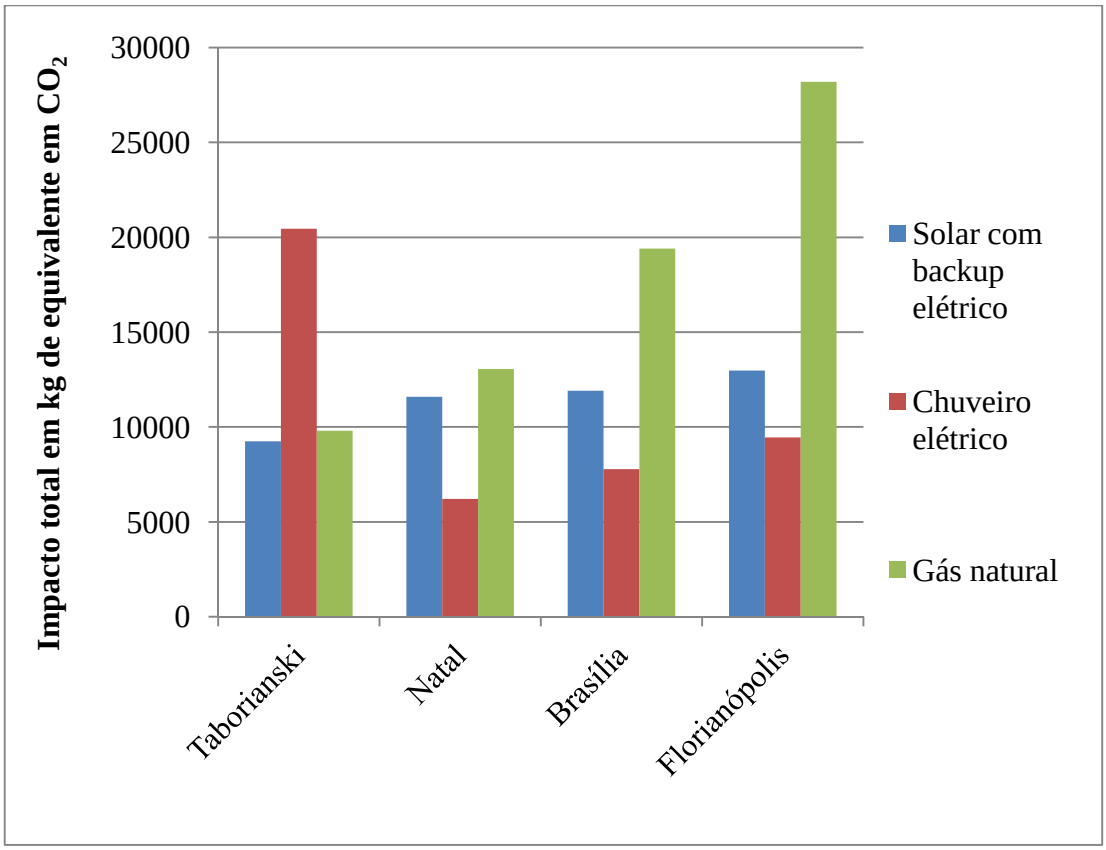

Figura 4.18 – Comparação com Taborianski (2002)

5. Conclusões

5.1. Conclusões gerais

No presente trabalho realizaram-se Avaliações de Ciclo de Vida de sistemas de aquecimento de água para aprimoramento do processo de etiquetagem do RTQ-R. Por meio de revisão bibliográfica, analisou-se quais as tecnologias mais utilizadas para o aquecimento de água no Brasil, e como está o processo de etiquetagem de edificações em nível mundial, principalmente do que diz respeito ao aquecimento de água. Concluiu-se que sistemas de aquecimento de água por eletricidade, gás e energia solar são os mais comuns, e que alguns países já têm uma classificação de eficiência energética referente ao aquecimento de água bastante evoluída.

Concluiu-se, também, que a fase de uso é responsável por grande parte do impacto total na maioria dos sistemas, exceto os sistemas com aquecedor solar. Para a residência unifamiliar, o chuveiro elétrico é a opção com menor impacto ambiental para todas as cidades, seguida por aquecedor solar com apoio elétrico e, por último, aquecedor de passagem a gás. Estes resultados puderam ser comparados com os resultados de alguns trabalhos existentes, e as conclusões não foram similares. Para o caso do edifício multifamiliar tem-se o aquecedor solar como alternativa menos impactante, seguido por chuveiro elétrico, boiler elétrico, aquecedor de passagem a gás e, por último, boiler a gás.

Com base nos resultados sobre impacto ambiental, foram feitas sugestões para a classificação da eficiência energética destes sistemas dentro do RTQ-R. Os critérios selecionados foram potência/consumo de gás, eficiência/rendimento, fração solar, localização e qualidade de fornecedor.

Pode-se dizer que há uma preferência por soluções utilizando eletricidade como insumo em detrimento das soluções com gás. Quanto à energia solar, os resultados mostram que é uma boa opção para edifícios maiores e para regiões mais ao sul (mais frias), onde a demanda é maior e a energia economizada tem vantagem em relação aos processos e materiais da fabricação. Seu desempenho ainda seria potencializado se fosse bem dimensionado para cada cidade.

Contudo, os resultados desta pesquisa não significam que o chuveiro elétrico ou o aquecedor solar com apoio elétrico são sempre a melhor opção para uma casa e um prédio, respectivamente. Primeiramente, foram analisados equipamentos, edifícios e cidades particulares. Quando se analisar, por exemplo, um edifício comercial em Manaus, os resultados podem ser diferentes.

Além disso, a viabilidade econômica das opções consideradas não foi analisada nesta pesquisa, sendo que geralmente considerações financeiras guiam a escolha dos produtos e sistemas. É esperado que sistemas de aquecimento solar sejam mais caros no investimento inicial mas com economias significativas durante a fase de uso. Resta saber se essa economia compensa o investimento inicial ou não. Mas isso representa um tópico que merece uma pesquisa própria. Uma Avaliação de Ciclo de Custo (ACC) é a melhor abordagem para tal.

5.2. Limitações do trabalho

Como limitações do trabalho pode-se citar:

- Falta de informações de fornecedores de equipamentos para usar como base de dados de entrada;

- Inexistência de bases de dados com padrões brasileiros em alguns processos do SimaPro;

- Realização da Avaliação de Ciclo de Vida para um número limitado de edificações, equipamentos e insumos;

- Realização de dimensionamento de sistema de aquecimento solar único para todas as cidades.

5.3. Sugestões para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros sugerem-se as seguintes recomendações:

- Realização da análise em outros tipos de edificações;

- Análises para outros locais, para atingir uma classificação de acordo com as zonas bioclimáticas;

- Análises para outros sistemas de aquecimento de água, como, por exemplo, bomba de calor;

- Análises com insumos diferentes, como, por exemplo, GLP e aquecimento solar com apoio a gás;

- Análises com outros enfoques, considerando outras categoriais de impacto, como, por exemplo, emissões para o solo ou emissões para a água.

Referências Bibliográficas

ABNT NBR ISO 14040. **Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura**; 2009a.

ABNT NBR ISO 14044. **Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações**; 2009b.

ALTOÉ, L.; FILHO, D. O.; CARLO, J. Análise energética de sistemas solares térmicos para diferentes demandas de água em uma residência unifamiliar. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 75-87, jul./set. 2012.

ANDALORO, A.P.F., SALOMONE, R., IOPPOLO, G., ANDALORO, L. Energy certification of buildings: A comparative analysis of progress towards implementation in European countries. **Energy Policy**, v. 38, n. 10, p. 5840-5866, out. 2010.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil.** 3 ed. Brasília, 2008. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_capa_sumario.pdf> Acesso em maio de 2013.

ARDENTE, F.; BECALLI, G.; CELLURA, M.; and LO BRANO, V. Life cycle assessment of a solar thermal collector. **Renewable Energy**, v.30, n. 7, p. 1031-1054, 2005.

ASTROSOL. **Central térmica a gás**. Disponível em: <http://www.astrosol.com.br/aquecedor/central-termica-a-gas-sistema-conjugado-200-a-15000-litros/>. Acesso em agosto de 2014.

ABCB (Australian Building Codes Board). **What's New**. Canberra, 2004. Disponível em: <http://www.abcb.gov.au/~/media/Files/Download%20Documents/Archived/Consultation/Consolidated%20PCD%20Volume%20One-2013.pdf>. Acesso em abril de 2013.

BAGHERI, F.; MOKARIZADEH, V.; JABBAR, M. Developing energy performance label for office buildings in Iran. **Energy and Buildings**, v. 61, p. 116-124, 2013.

BALDISSERA, U. Z. **Estratégias para a redução do consumo de energia elétrica em residências de interesse social**. Relatório de Iniciação Científica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

BARRETO, D. Perfil do consumo residencial e usos finais da água. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 23-40, abr./jun. 2008.

BRASIL. **Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001**. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Brasília, DF, 2001. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/qualidade/pdf/decreto4059.pdf>. Acesso em março de 2013.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria 163, de 08 de junho de 2009**. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001599.pdf>. Acesso em abril de 2013.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria 18, de 16 de janeiro de 2012**. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/RTAC001788.pdf>. Acesso em abril de 2013.

BRASILTEC. 2011. **Como funciona o aquecedor a gás**. Disponível em: <http://www.brasiltec.com.br/blog.php?d=2>. Acesso em maio de 2013.

BRE (Building Research Establishment). 2014. **BREEAM**. Disponível em: <http://www.bre.co.uk/page.jsp?id=829>. Acesso em outubro de 2014.

BSRIA. Building Services Research and Information Association. 2013. **Life Cycle Assessment – An introduction**.

CARLO, J.; LAMBERTS, R. Development of envelope efficiency labels for commercial buildings: Effect of different variables on electricity consumption. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 11, p. 2002-2008, 2008.

CARLO, J.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 7-26, abr./jun. 2010.

CENTER POINT ENERGY. 2008. **Efficient natural gas water heaters.** Disponível em: <http://www.centerpointenergy.com/staticfiles/CNP/Common/SiteAssets/doc/FactSheet_Water_Heaters_AR.pdf >. Acesso em agosto 2014.

DASOL – Departamento Nacional de Aquecimento Solar. **Princípio de Funcionamento.** 2012. Disponível em: <http://www.dasolabrava.org.br/informacoes/principio-de-funcionamento>. Acesso em maio de 2013.

ELETROBRAS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso**: ano-base 2005, classe residencial. Relatório Brasil. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2007.

EPBD – Energy Performance of Buildings Directive. **Implementing the Energy Performance of Buildings Directive**. Bruxelas, 2011.

ESPANHA. **Documento Básico HE Ahorro de Energía.** Abril, 2009.

FEDRIGO, N. S.; GONÇALVES, G.; LUCAS, P. F. **Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro**. Relatório de Iniciação Científica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

FOSSATI, M.; LAMBERTS, R. Eficiência Energética da Envoltória de Edifícios de Escritórios de Florianópolis: discussões sobre a aplicação do método prescritivo do RTQ-C. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 59-69, abr./jun. 2010.

FRANZITTA, V.; LA GENNUSA, M.; PERI, G.; RIZZO, G.; SCACCIANOCE, G. Toward a European Eco-label brand for residential buildings: Holistic or by-components approaches. **Energy**, v. 36, n. 4, p. 1884-1892, 2011.

GBPN – Global Building Performance Network. **A comparative analysis of building energy efficiency policies for new buildings.** Status Report. Fevereiro, 2013.

GHISI, E.; FERREIRA, D. F. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. **Building and Environment**, v. 42, n. 7, p. 2512-2522, 2007.

GHISI, E.; GOSCH, S.; LAMBERTS, R. Eletricity end-uses in the residential sector of Brazil. **Energy Policy**, v. 35, n.8, p. 4107-4120, 2007.

GHISI, E.; OLIVEIRA, S. M. Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil. **Building and Environment**, v. 42, n. 4, p. 1731-1742, 2007.

GRAEDEL, T. E.; ALLENBY, B. R. **Industrial Ecology**. New Jersey/USA: Prentice Hall, 1995.

HELIOTEK. **Aquecedor solar compacto**. Disponível em: <http://www.heliotek.com.br/Produtos/Aquecedor-Solar-Compacto/>. Acesso em agosto de 2014.

HEPBASLI, A.; KALINCI, Y. A review of heat pump water heating systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews,** v. 13, n. 6-7, p. 1211-1229, 2009.

IBRAHIM, O.; FARDOUN, F.; YOUNES, R.; LOUAHLIA-GUALOUS, H. Review of water-heating systems: General selection approach based on energy and environmental aspects solar thermal technologies. **Building and Environment**, v.72, p. 259-286, 2014.

INMETRO. **Tabelas de consumo/eficiência energética**. Disponível em: < http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>. Acesso em agosto de 2014.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. **Climate Change 2013 – The Physical Science Basis.** Disponível em: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/docs/WGIAR5_SPM_brochure_en.pdf>. Acesso em agosto de 2014.

ISO 16343. **Energy performance of buildings – Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings**; 2012.

ISO/TR 16344. **Energy performance of buildings – Common terms, definitions and symbols for the overall energy performance rating and certification**; 2013.

ISO/TR 16346. **Energy performance of buildings – Assessment of the overall energy performance**; 2013.

KOMECO. **Slim KO 12M**. Disponível em: <http://www.komeco.com.br/?c=produtos_aquecedores_gas&m=exibir&id=25>. Acesso em agosto de 2014.

KORONEOS, C. J; NANAKI, E. A. Life cycle environmental impact assessment of a solar water heater. **Journal of Cleaner Production**, v.37, p. 154-161, 2012.

LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações.** Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/Volume_1_Apresentacao_Etiquetagem.pdf>. Acesso em março de 2013.

LEED (Leadership in Energy & Environmental Design). 2014. **Overview**. Disponível em: < http://www.usgbc.org/leed>. Acesso em outubro de 2014.

LORENZETTI. **Maxi Ducha.** Disponível em: <http://www.lorenzetti.com.br/pt/Detalhes_Produto.aspx?id=258>. Acesso em agosto de 2014.

MARINOSKI, A. K.; SILVA, A. S.; VIEIRA, A. S.; GHISI, E. Public acceptance of alternative water sources. Water Conservation: Practices, Challenges and Future Implications. **Nova York: Nova Science Publishers**, v. 1, p. 1-24, 2013.

MARTINOPOULOS, G.; TSILINGIRIDIS, G; KYRIAKIS, N. Identification of the environmental impact from the use of different materials in domestic solar hot water systems. **Applied Energy**, v.102, p. 545-555, 2013.

MME (Ministério de Minas e Energia). **Balanço Energético Nacional 2014**. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/ Relatorio_Final_BEN_2014.pdf>. Acesso em setembro de 2014.

NASPOLINI, H. F.; MILITAO, H.; CORDINI, J.; RÜTHER, R. **Avaliação do potencial da agregação da energia solar térmica para fins de aquecimento de água para o banho humano em núcleos habitacionais de baixa renda.** II Congresso Brasileiro de Energia Solar & III Conferencia Latinoamericana da International Solar Energy Society, 2008, Florianópolis, Brasil. Disponível em: <http://www.lecie.ufsc.br/arquivos/publicacoes/Artigo%20-%20II%20CBENS%20-%202008.pdf>. Acesso em julho de 2013.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica.** 2. ed. São Paulo (SP): E. Blucher, 1981.

PEREZ-LOMBARD, L., ORTIZ, J., GONZÁLEZ, R., MAESTRE, I. R. A review of benchmarking, rating and labeling concepts within the framework of building energy certification schemes. **Energy and Buildings**, v.41, n.3, p. 272-278, 2009.

PINHEIRO, P. C. C. **Análise de uso de chuveiro elétrico para aquecimento de água.** Seminário Internacional de Energia, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, 2012.

PORTUGAL. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. **Decreto-lei nº 79, de 4 de abril de 2006**. Aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios. Lisboa, 2006a. Disponível em: <http://dre.pt/pdf1s/2006/04/067A00/24162468.pdf>. Acesso em abril de 2013.

PORTUGAL. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. **Decreto-lei nº 80, de 4 de abril de 2006**. Aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. Lisboa, 2006b. Disponível em: <http://dre.pt/pdf1s/2006/04/067A00/24682513.pdf>. Acesso em julho de 2013.

RADIASOL 2. **Universidade Federal do Rio Grande de Sul.** Disponível em: < www.solar.ufrgs.br/ >. Acesso em julho de 2014.

SANTOS, D. C. Os sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, n. 4, p. 7-18, out./dez. 2002.

SANTOS, J. W. **Construção do FMEA para um chuveiro elétrico.** Universidade Federal do Sergipe, São Cristóvão, 2013. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfkm8AJ/fmea-chuveiro-eletrico>. Acesso em julho de 2013.

SAUER, H. J. **Heat pump systems.** New York: J. Wiley, 1983.

SILVA, A. S.; LUIZ, F.; MANSUR, A. C.; VIEIRA, A. S.; SCHAEFER, A. ; GHISI, E. **Knowing electricity end-uses to successfully promote energy efficiency in buildings: a case study in low-income houses in Southern Brazil**. International Conference on Energy & Environment, 2013, Porto. International Conference on Energy & Environment: bringing together Economics and Engineering. V. 1. p. 1-10, 2013.

SIMAPRO. 2013. **Introduction to LCA with SimaPro**. Pre Consultants. Países Baixos.

TABORIANSKI, V. M. **Avaliação da contribuição das tipologias de aquecimento de água residencial para a variação do estoque de gases de efeito estufa na atmosfera.** Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Catarina – USP, São Paulo, 2002.

THIRUGNANASAMBANDAM, M.; INIYAN, S.; GOIC, R. A Review of Solar Thermal Technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 1, p. 312-322, 2010.

TSILINGIRIDIS, G.; MARTINOPOULOS, G.; KYRIAKIS, N. Life cycle environmental impact of a thermosyphonic domestic solar hot water system in comparison with electrical and gas water heating. **Renewable Energy**, v.29, n. 8, p. 1277-1288, 2004.

WEIDEMA, B. P.; BAUER, C.; HISCHIER, R.; MUTEL, C.; NEMECEK, T.; REINHARD, J.; VANDENBO, C. O.; WERNET, G. 1998. **Data quality guideline for the Ecoinvent database version.** Disponível em: <http://www.ecoinvent.org/fileadmin/documents/en/Data_Quality_Guidelines/01_DataQualityGuideline_v3_Final.pdf>. Acesso em agosto de 2014.

YANG, Y.; LI, B.; YAO, R. A method of identifying and weighting indicators of energy efficiency assessment in Chinese residential buildings. **Energy Policy**, v. 38, n. 1, p. 7687-7697, 2010.

ZAMBRANA-VASQUEZ, D.; ARANDA-USÓN, A.; ZABALZA-BRIBI, I.; JAÑES, A.; LLERA-SASTRESA, E.; HERNANDEZ, P.; ARRIZABALAGA, E. Environmental assessment of domestic solar hot water systems: a case study in residential and hotel buildings. **Journal of Cleaner Production**, disponível online em junho 2014.

Apêndices

Apêndice A – Quantitativos dos projetos da Casa e Prédio Modular Fischer

Tabela A.1 - Quantitativo do projeto elétrico da Casa Modular Fischer com chuveiro elétrico

Entrada de Energia	
Descrição	**Quantidade**
Poste para entrada de energia de 5m	1
Caixa de medição	1
Disjuntor Bipolar 40ª	1
Eletroduto semi-rígido PVC Φ¾"	13m
Eletroduto semi-rígido PVC Φ1"	11m
Cabo de cobre eletrolítico com isolação 10mm²	27m
Condutor de cobre isolado 10mm²	7m
Haste de aterramento Φ¾" x 2,60m	1
Abraçadeira de ferro galvanizado	2
Parafuso prisioneiro	1
Bucha PVC Φ¾"	4
Arruela de alumínio Φ¾"	4
Concreto magro	0,15m³
Massa epóxi	0,07kg
Quadro de distribuição	
Descrição	**Quantidade**
Quadro de distribuição de energia para 12 disjuntores	1
Disjuntor monopolar 10A 15A	 1 2
Disjuntor bipolar 30A	1
Interruptor diferencial residual 2P - 40A - 30mA	1
Edificação	
Descrição	**Quantidade**
Fio de cobre eletrolítico – fase 1,5 mm² 2,5 mm² 4,0 mm²	 22 53 16

Tabela A.1 - Quantitativo do projeto elétrico da Casa Modular Fischer com chuveiro elétrico (cont.)

Edificação	
Descrição	**Quantidade**
Fio de cobre eletrolítico – neutro	
1,5 mm²	25
2,5 mm²	53
Fio de cobre eletrolítico - retorno	
1,5 mm²	29
Fio de cobre eletrolítico - terra	
2,5 mm²	41
4,0 mm²	9
Eletroduto de PVC	
Φ1/2”	31
Φ3/4”	8
Caixa sextavada	4
Caixa 4"x2"	20
Placa termoplástica 4"x2" com buraco no centro	2
Placa termoplástica 4"x2" com tampa cega	2
Tomada padrão brasileiro (2 polos + terra)	13
Interruptor simples	3
Conjunto com 2 interruptores simples	2
Conjunto com interruptor simples e tomada padrão brasileiro	1
Acessórios	
Descrição	**Quantidade**
Arruela de alumínio Φ1"	1
Bucha de PVC Φ1"	1
Chuveiro elétrico Lorenzetti Maxi Ducha 5500W	1

Tabela A.2 - Quantitativo do projeto hidráulico da Casa Modular Fischer com chuveiro elétrico

Descrição	Tamanho	Quantidade
Caixa d'água	500l	1
Bóia para caixa d'água	-	1
Flange	Φ20mm	2
	Φ25mm	1
Tubo de PVC soldável	Φ20mm	17m
	Φ25mm	10m
Joelho 90° com redução em latão	Φ25mm x 1/2"	4
	Φ25mm x 1/2"	2

Tabela A.2 - Quantitativo do projeto hidráulico da Casa Modular Fischer com chuveiro elétrico (cont.)

Descrição	Tamanho	Quantidade
Joellho 90°	Φ20mm	7
	Φ25mm	3
Tê 90°	Φ20mm	2
Tê 90° com redução	Φ25mm x 20mm	1
Bucha de redução	Φ25mm x 20mm	2
Registro de esfera	Φ25mm	1
Luva	Φ25mm x 3/4"	2
Joelho 45°	Φ25mm	2

Tabela A.3 - Quantitativo do projeto elétrico da Casa Modular Fischer com aquecedor de passagem a gás

Entrada de Energia	
Descrição	**Quantidade**
Poste para entrada de energia de 5m	1
Caixa de medição	1
Disjuntor Bipolar 40A	1
Eletroduto semi-rígido PVC Φ¾"	11m
Eletroduto semi-rígido PVC Φ1"	10m
Cabo de cobre eletrolítico com isolação 10mm²	27m
Condutor de cobre isolado 10mm²	7m
Haste de aterramento Φ¾" x 2,60m	1
Abraçadeira de ferro galvanizado	2
Parafuso prisioneiro	1
Bucha PVC Φ¾"	4
Arruela de alumínio Φ¾"	4
Concreto magro	0,15m³
Massa epóxi	0,07kg
Quadro de distribuição	
Descrição	**Quantidade**
Quadro de distribuição de energia para 8 disjuntores	1
Disjuntor monopolar 10A 15A	 1 2
Interruptor diferencial residual 2P - 40A - 30mA	1

Tabela A.3 - Quantitativo do projeto elétrico da Casa Modular Fischer com aquecedor de passagem a gás (cont.)

Edificação	
Descrição	**Quantidade**
Fio de cobre eletrolítico - fase	
1,5 mm²	22
2,5 mm²	53
Fio de cobre eletrolítico - neutro	
1,5 mm²	25
2,5 mm²	53
Fio de cobre eletrolítico - retorno	
1,5 mm²	29
Fio de cobre eletrolítico - terra	
2,5 mm²	41
Eletroduto de PVC	
Φ1/2”	34
Caixa sextavada	4
Caixa 4"x2"	18
Placa termoplástica 4"x2" com buraco no centro	2
Placa termoplástica 4"x2" com tampa cega	2
Tomada padrão brasileiro (2 polos + terra)	13
Interruptor simples	3
Conjunto com 2 interruptores simples	2
Conjunto com interruptor simples e tomada padrão brasileiro	1
Acessórios	
Descrição	**Quantidade**
Arruela de alumínio Φ1"	1
Bucha de PVC Φ1"	1
Chuveiro simples	1

Tabela A.4 - Quantitativo do projeto hidráulico da Casa Modular Fischer com aquecedor de passagem a gás

Descrição	Tamanho	Quantidade
Caixa d'água	500l	1
Bóia para caixa d'água	-	1
Flange	Φ20mm	2
	Φ25mm	1
Tubo de PVC soldável marrom	Φ20mm	21m
	Φ25mm	8m
Joelho 90° com redução em latão	Φ20mm x 1/2"	4
	Φ25mm x 1/2"	2

Tabela A.4 - Quantitativo do projeto hidráulico da Casa Modular Fischer com aquecedor de passagem a gás (cont.)

Descrição	Tamanho	Quantidade
Joellho 90°	Φ20mm	7
	Φ25mm	3
Tê 90°	Φ20mm	2
Tê 90° com redução	Φ25mm x 20mm	1
Bucha de redução	Φ25mm x 20mm	2
Registro de esfera	Φ25mm	1
Luva	Φ25mm x 3/4"	2
Joelho 45°	Φ25mm	2
Tê 90° AQUATHERM	Φ22mm	1
Luva AQUATHERM	Φ22mm x 3/4"	3
Joelho 90° AQUATHERM	Φ22mm	2
Joelho 90° com redução em latão AQUATHERM	Φ22mm x 1/2"	4
Tubo CPVC AQUATHERM	Φ22mm	4m
Tubo de aço galvanizado	Φ21mm	1m
	Φ27mm	13m
Cotovelo de ferro galvanizado com rosca	Φ3/4"	3
	Φ1/2"	2
Tê redução ferro galvanizado	Φ3/4" x 1/2"	1
Bucha de ferro galvanizado	Φ3/4" x 1/2"	1
Aquecedor de passagem a gás Komeco Slim KO 12M	12L	1
Registro de esfera com bico para gás	Φ1/2"	1
Mangueira plástica para gás	Φ1/2"	3m
Medidor de gás	-	1

Tabela A.5 - Quantitativo do projeto elétrico da Casa Modular Fischer com aquecedor solar com apoio elétrico

Entrada de Energia	
Descrição	**Quantidade**
Poste para entrada de energia de 5m	1
Caixa de medição	1
Disjuntor Bipolar 40A	1
Eletroduto semi-rígido PVC Φ¾"	13m
Eletroduto semi-rígido PVC Φ1"	11m
Cabo de cobre eletrolítico com isolação 10mm²	27m
Condutor de cobre isolado 10mm²	7m
Haste de aterramento Φ¾" x 2,60m	1

Tabela A.5 - Quantitativo do projeto elétrico da Casa Modular Fischer com aquecedor solar com apoio elétrico (cont.)

Entrada de Energia	
Descrição	**Quantidade**
Abraçadeira de ferro galvanizado	2
Parafuso prisioneiro	1
Bucha PVC Φ¾"	4
Arruela de alumínio Φ¾"	4
Concreto magro	0,15m³
Massa epoxi	0,07kg
Quadro de distribuição	
Descrição	**Quantidade**
Quadro de distribuição de energia para 12 disjuntores	1
Disjuntor monopolar 10A 15A	 1 2
Disjuntor bipolar 30A	1
Interruptor diferencial residual 2P - 40A - 30mA	1
Edificação	
Descrição	**Quantidade**
Fio de cobre eletrolítico - fase 1,5 mm² 2,5 mm² 4,0 mm²	 22 53 16
Fio de cobre eletrolítico - neutro 1,5 mm² 2,5 mm²	 25 53
Fio de cobre eletrolítico - retorno 1,5 mm²	 29
Fio de cobre eletrolítico - terra 2,5 mm² 4,0 mm²	 41 9
Eletroduto de PVC Φ1/2” Φ3/4”	 31 8
Caixa sextavada	4
Caixa 4"x2"	20
Placa termoplástica 4"x2" com buraco no centro	2
Placa termoplástica 4"x2" com tampa cega	2
Tomada padrão brasileiro (2 polos + terra)	13

Tabela A.5 - Quantitativo do projeto elétrico da Casa Modular Fischer com aquecedor solar com apoio elétrico (cont.)

Edificação	
Descrição	**Quantidade**
Interruptor simples	3
Conjunto com 2 interruptores simples	2
Conjunto com interruptor simples e tomada padrão brasileiro	1
Acessórios	
Descrição	**Quantidade**
Arruela de alumínio Φ1"	1
Bucha de PVC Φ1"	1
Chuveiro simples	1

Tabela A.6 - Quantitativo do projeto hidráulico da Casa Modular Fischer com aquecedor solar com apoio elétrico

Descrição	Tamanho	Quantidade
Caixa d'água	500l	1
Bóia para caixa d'água	-	1
Flange	Φ20mm	2
	Φ25mm	1
Registro de gaveta de cobre	Φ3/4"	1
Registro de pressão de cobre	Φ3/4"	1
Misturador de cobre	Φ3/4" x 22mm x 3/4"	1
Cotovelo de cobre	Φ22mm	7
Espuma Isolante 5mm	Φ22mm	8m
Tubo de cobre	Φ22mm	12m
Tê 90° PVC	Φ25mm	2
Joelho 90° PVC	Φ25mm	6
Luva PVC	Φ25mm x 3/4"	2
Tubo PVC	Φ25mm	6m
Aquecedor solar compacto Heliotek	-	1
Resistência elétrica 2000W	-	1

Tabela A.7 - Quantitativo do projeto elétrico do Prédio Modular Fischer com chuveiro elétrico

Entrada de Energia	
Descrição	**Quantidade**
Poste para entrada de energia de 8m	1
Caixa de medição	1

Tabela A.7 - Quantitativo do projeto elétrico do Prédio Modular Fischer com chuveiro elétrico (cont.)

Entrada de Energia	
Descrição	**Quantidade**
Disjuntor Bipolar 60A	1
Eletroduto semi-rígido PVC Φ¾"	14m
Eletroduto semi-rígido PVC Φ1"	13m
Cabo de cobre eletrolítico com isolação 16mm²	95m
Condutor de cobre isolado 16mm²	27m
Haste de aterramento Φ¾" x 2,60m	1
Abraçadeira de ferro galvanizado	1
Parafuso prisioneiro	1
Bucha PVC Φ¾"	2
Arruela de alumínio Φ¾"	2
Concreto magro	0,45m³
Massa epoxi	0,21kg
Quadro de distribuição	
Descrição	**Quantidade**
Quadro de distribuição de energia para 20 disjuntores	7
Disjuntor monopolar	
10A	42
16A	24
25A	12
32A	16
50A	24
Disjuntor bipolar 60A	1
Interruptor diferencial residual 2P - 60A - 30mA	1
Edificação	
Descrição	**Quantidade**
Fio de cobre eletrolítico - fase	
1,5 mm²	580m
2,5 mm²	1220m
4,0 mm²	110m
6,0 mm²	72m
Fio de cobre eletrolítico - neutro	
1,5 mm²	360m
2,5 mm²	1220m
4,0 mm²	110m
6,0 mm²	72m

Tabela A.7 - Quantitativo do projeto elétrico do Prédio Modular Fischer com chuveiro elétrico (cont.)

Edificação	
Descrição	**Quantidade**
Fio de cobre eletrolítico – retorno 1,5 mm²	 1352m
Fio de cobre eletrolítico – terra 2,5 mm² 4,0 mm² 6,0 mm²	 1220m 110m 72m
Eletroduto de PVC Φ1/2” Φ3/4” Φ1 Φ1 1/4” Φ1 1/2”	 1940m 67m 355m 372m 20m
Caixa sextavada	44
Caixa 4"x2"	550
Placa termoplástica 4"x2" com buraco no centro	32
Placa termoplástica 4"x2" com tampa cega	30
Tomada padrão brasileiro (2 polos + terra)	250
Interruptor simples	85
Conjunto com 2 interruptores simples	30
Conjunto com interruptor simples e tomada padrão brasileiro	72
Acessórios	
Descrição	**Quantidade**
Arruela de alumínio Φ1"	16
Bucha de PVC Φ1"	16
Chuveiro elétrico Lorenzetti Maxi Ducha 5500W	16

Tabela A. 8 - Quantitativo do projeto hidráulico do Prédio Modular Fischer com chuveiro elétrico

Descrição	Tamanho	Quantidade
Caixa d'água	4000l	1
Bóia para caixa d'água	-	1
Flange	Φ32mm	4
	Φ60mm	2
Tubo de PVC soldável	Φ25mm	378m
	Φ32mm	8m
	Φ40mm	46m
	Φ60mm	12m

Tabela A.8 - Quantitativo do projeto hidráulico do Prédio Modular Fischer com chuveiro elétrico (cont.)

Descrição	Tamanho	Quantidade
Joelho 90° com redução em latão	Φ25mm x 3/4"	102
Joellho 90°	Φ25mm	168
	Φ40mm	10
	Φ60mm	14
Tê 90°	Φ25mm	68
	Φ32mm	4
	Φ40mm	4
	Φ60mm	1
Tê 90° com redução	Φ60mm x 40mm	4
	Φ60mm x 25mm	8
	Φ40mm x 25mm	8
Registro de gaveta	Φ25mm	32
	Φ32mm	4
	Φ60mm	2
Registro de pressão	Φ3/4"	16
Luva	Φ25mm x 3/4"	76
Joelho 45°	Φ25mm	12
	Φ40mm	3

Tabela A.9 - Quantitativo do projeto elétrico do Prédio Modular Fischer com aquecedor de passagem a gás

Entrada de Energia	
Descrição	**Quantidade**
Poste para entrada de energia de 8m	1
Caixa de medição	1
Disjuntor Bipolar 60A	1
Eletroduto semi-rígido PVC Φ¾"	15m
Eletroduto semi-rígido PVC Φ1"	13m
Cabo de cobre eletrolítico com isolação 16mm²	93m
Condutor de cobre isolado 16mm²	27m
Haste de aterramento Φ¾" x 2,60m	1
Abraçadeira de ferro galvanizado	1
Parafuso prisioneiro	1
Bucha PVC Φ¾"	2
Arruela de alumínio Φ¾"	2
Concreto magro	0,45m³
Massa epóxi	0,21kg

Tabela A.9 - Quantitativo do projeto elétrico do Prédio Modular Fischer com aquecedor de passagem a gás (cont.)

Quadro de distribuição	
Descrição	**Quantidade**
Quadro de distribuição de energia para 12 disjuntores	6
Disjuntor monopolar 10A 16A 25A 32A	 42 24 12 24
Disjuntor bipolar 60A	1
Interruptor diferencial residual 2P - 60A - 30mA	1
Edificação	
Descrição	**Quantidade**
Fio de cobre eletrolítico – fase 1,5 mm² 2,5 mm² 4,0 mm²	 580m 1220m 110m
Fio de cobre eletrolítico – neutro 1,5 mm² 2,5 mm² 4,0 mm²	 360m 1220m 110m
Fio de cobre eletrolítico – retorno 1,5 mm²	 1352m
Fio de cobre eletrolítico – terra 2,5 mm² 4,0 mm²	 1220m 110m
Eletroduto de PVC Φ1/2” Φ3/4” Φ1 Φ1 1/4”	 1732m 67m 365m 382m
Caixa sextavada	44
Caixa 4"x2"	550
Placa termoplástica 4"x2" com buraco no centro	16
Placa termoplástica 4"x2" com tampa cega	30
Tomada padrão brasileiro (2 polos + terra)	266
Interruptor simples	85
Conjunto com 2 interruptores simples	30
Conjunto com interruptor simples e tomada padrão brasileiro	72

Tabela A.9 - Quantitativo do projeto elétrico do Prédio Modular Fischer com aquecedor de passagem a gás (cont.)

Acessórios	
Descrição	**Quantidade**
Arruela de alumínio Φ1"	16
Bucha de PVC Φ1"	16
Chuveiro simples	16

Tabela A.10 - Quantitativo do projeto hidráulico do Prédio Modular Fischer com aquecedor de passagem a gás

Descrição	Tamanho	Quantidade
Caixa d'água	4000l	1
Bóia para caixa d'água	-	1
Flange	Φ32mm	4
	Φ60mm	2
Tubo de PVC soldável marrom	Φ25mm	245m
	Φ32mm	8m
	Φ40mm	46m
	Φ60mm	12m
Joelho 90° com redução em latão	Φ25mm x 3/4"	95
Joellho 90°	Φ25mm	122
	Φ40mm	10
	Φ60mm	14
Tê 90°	Φ25mm	51
	Φ32mm	4
	Φ40mm	4
	Φ60mm	1
Tê 90° com redução	Φ60mm x 40mm	4
	Φ60mm x 25mm	8
	Φ40mm x 25mm	8
Registro de gaveta	Φ25mm	32
	Φ32mm	4
	Φ60mm	2
Registro de pressão	Φ3/4"	16
Luva	Φ25mm x 3/4"	76
Joelho 45°	Φ25mm	12
	Φ40mm	3
Tê 90° AQUATHERM	Φ22mm	16

Tabela A.10 - Quantitativo do projeto hidráulico do Prédio Modular Fischer com aquecedor de passagem a gás (cont.)

Descrição	Tamanho	Quantidade
Luva AQUATHERM	Φ22mm x 3/4"	64
Joelho 90° AQUATHERM	Φ22mm	16
Joelho 90° com redução em latão AQUATHERM	Φ22mm x 1/2"	48
Tubo CPVC AQUATHERM	Φ22mm	72m
Tubo de aço galvanizado	Φ21mm	16m
	Φ27mm	224m
Cotovelo de ferro galvanizado com rosca	Φ3/4"	48
	Φ1/2"	32
Tê redução ferro galvanizado	Φ3/4" x 1/2"	16
Bucha de ferro galvanizado	Φ3/4" x 1/2"	16
Aquecedor de passagem a gás Komeco Slim KO 12M	12L	16
Registro de esfera com bico para gás	Φ1/2"	16
Mangueira plástica para gás	Φ1/2"	54m
Medidor de gás	-	16

Tabela A.11 - Quantitativo do projeto elétrico do Prédio Modular Fischer com aquecedor solar com apoio elétrico

Entrada de Energia	
Descrição	**Quantidade**
Poste para entrada de energia de 8m	1
Caixa de medição	1
Disjuntor Bipolar 60A	1
Eletroduto semi-rígido PVC Φ¾"	14m
Eletroduto semi-rígido PVC Φ1"	13m
Cabo de cobre eletrolítico com isolação 16mm²	95m
Condutor de cobre isolado 16mm²	27m
Haste de aterramento Φ¾" x 2,60m	1
Abraçadeira de ferro galvanizado	1
Parafuso prisioneiro	1
Bucha PVC Φ¾"	2
Arruela de alumínio Φ¾"	2
Concreto magro	0,45m³
Massa epoxi	0,21kg
Quadro de distribuição	
Descrição	**Quantidade**
Quadro de distribuição de energia para 20 disjuntores	6

Tabela A.11 - Quantitativo do projeto elétrico do Prédio Modular Fischer com aquecedor solar com apoio elétrico (cont.)

Quadro de distribuição	
Descrição	**Quantidade**
Disjuntor monopolar	
10A	42
16A	24
25A	12
32A	24
Disjuntor bipolar 60A	2
Interruptor diferencial residual 2P - 60A - 30mA	2
Edificação	
Descrição	**Quantidade**
Fio de cobre eletrolítico - fase	
1,5 mm²	580m
2,5 mm²	1220m
4,0 mm²	110m
10,0 mm²	30m
Fio de cobre eletrolítico - neutro	
1,5 mm²	360m
2,5 mm²	1220m
4,0 mm²	110m
10,0 mm²	30m
Fio de cobre eletrolítico - retorno	
1,5 mm²	1352m
Fio de cobre eletrolítico - terra	
2,5 mm²	1220m
4,0 mm²	110m
10,0 mm²	30m
Eletroduto de PVC	
Φ1/2”	1732m
Φ3/4”	67m
Φ1	400m
Φ1 1/4”	382m
Φ1 1/2”	20m
Caixa sextavada	44
Caixa 4"x2"	550
Placa termoplástica 4"x2" com buraco no centro	16
Placa termoplástica 4"x2" com tampa cega	30
Tomada padrão brasileiro (2 polos + terra)	266
Interruptor simples	85
Conjunto com 2 interruptores simples	30
Conjunto com interruptor simples e tomada padrão brasileiro	72

Tabela A.11 - Quantitativo do projeto elétrico do Prédio Modular Fischer com aquecedor solar com apoio elétrico (cont.)

Acessórios	
Descrição	**Quantidade**
Arruela de alumínio Φ1"	16
Bucha de PVC Φ1"	16
Chuveiro simples	16

Tabela A.12 - Quantitativo do projeto hidráulico do Prédio Modular Fischer com aquecedor solar com apoio elétrico

Descrição	Tamanho	Quantidade
Caixa d'água	3000l	1
Bóia para caixa d'água	-	1
Flange	Φ32mm	4
	Φ60mm	2
Tubo PVC	Φ25mm	303m
	Φ32mm	8m
	Φ40mm	32m
	Φ60mm	12m
Joelho 90° PVC	Φ25mm	98
	Φ40mm	5
	Φ60mm	9
Tê 90° PVC	Φ25mm	41
	Φ32mm	4
	Φ40mm	4
	Φ60mm	1
Registro de gaveta	Φ25mm	32
	Φ32mm	4
	Φ60mm	2
Luva PVC	Φ25mm x 3/4"	24
Registro de pressão de cobre	Φ3/4"	16
Misturador de cobre	Φ3/4" x 22mm x 3/4"	16
Cotovelo de cobre	Φ22mm x 3/4"	16
Espuma Isolante 5mm	-	170m
Tubo de cobre	Φ22mm	170m
Placa coletora para banho Heliotek	1,5m²	16
Reservatório Térmico Heliotek	500l	2
Resistência elétrica 2500W	-	1

Tabela A.13 - Quantitativo do projeto elétrico do Prédio Modular Fischer com boiler elétrico

Entrada de Energia	
Descrição	**Quantidade**
Poste para entrada de energia de 8m	1
Caixa de medição	1
Disjuntor Bipolar 60A	1
Eletroduto semi-rígido PVC Φ¾"	14m
Eletroduto semi-rígido PVC Φ1"	13m
Cabo de cobre eletrolítico com isolação 16mm²	95m
Condutor de cobre isolado 16mm²	27m
Haste de aterramento Φ¾" x 2,60m	1
Abraçadeira de ferro galvanizado	1
Parafuso prisioneiro	1
Bucha PVC Φ¾"	2
Arruela de alumínio Φ¾"	2
Concreto magro	0,45m³
Massa epóxi	0,21kg
Quadro de distribuição	
Descrição	**Quantidade**
Quadro de distribuição de energia para 20 disjuntores	6
Disjuntor monopolar 10A 16A 25A 32A	 42 24 12 24
Disjuntor bipolar 60A	2
Interruptor diferencial residual 2P - 60A - 30mA	2
Edificação	
Descrição	**Quantidade**
Fio de cobre eletrolítico – fase 1,5 mm² 2,5 mm² 4,0 mm² 10,0 mm²	 580m 1220m 110m 30m
Fio de cobre eletrolítico – neutro 1,5 mm² 2,5 mm² 4,0 mm² 10,0 mm²	 360m 1220m 110m 30m

Tabela A.13 - Quantitativo do projeto elétrico do Prédio Modular Fischer com boiler elétrico (cont.)

Edificação	
Descrição	**Quantidade**
Fio de cobre eletrolítico - retorno 1,5 mm²	 1352m
Fio de cobre eletrolítico - terra 2,5 mm² 4,0 mm² 10,0 mm²	 1220m 110m 30m
Eletroduto de PVC Φ1/2” Φ3/4” Φ1 Φ1 1/4” Φ1 1/2”	 1732m 67m 400m 382m 20m
Caixa sextavada	44
Caixa 4"x2"	550
Placa termoplástica 4"x2" com buraco no centro	16
Placa termoplástica 4"x2" com tampa cega	30
Tomada padrão brasileiro (2 polos + terra)	266
Interruptor simples	85
Conjunto com 2 interruptores simples	30
Conjunto com interruptor simples e tomada padrão brasileiro	72
Acessórios	
Descrição	**Quantidade**
Arruela de alumínio Φ1"	16
Bucha de PVC Φ1"	16
Chuveiro simples	16

Tabela A.14 - Quantitativo do projeto hidráulico do Prédio Modular Fischer com boiler elétrico

Descrição	Tamanho	Quantidade
Caixa d'água	3000l	1
Bóia para caixa d'água	-	1
Flange	Φ32mm	4
	Φ60mm	2
Tubo PVC	Φ25mm	303m
	Φ32mm	8m
	Φ40mm	32m
	Φ60mm	12m

Tabela A.14 - Quantitativo do projeto hidráulico do Prédio Modular Fischer com boiler elétrico (cont.)

Descrição	Tamanho	Quantidade
Joelho 90° PVC	Φ25mm	98
	Φ40mm	5
	Φ60mm	9
Tê 90° PVC	Φ25mm	41
	Φ32mm	4
	Φ40mm	4
	Φ60mm	1
Registro de gaveta	Φ25mm	32
	Φ32mm	4
	Φ60mm	2
Luva PVC	Φ25mm x 3/4"	24
Espuma Isolante 5mm	-	170m
Boiler Elétrico Horizontal Astrosol	1000l	1
Resistência elétrica 5000W	-	1

Tabela A.15 - Quantitativo do projeto elétrico do Prédio Modular Fischer com boiler a gás

Entrada de Energia	
Descrição	**Quantidade**
Poste para entrada de energia de 8m	1
Caixa de medição	1
Disjuntor Bipolar 60A	1
Eletroduto semi-rígido PVC Φ¾"	15m
Eletroduto semi-rígido PVC Φ1"	13m
Cabo de cobre eletrolítico com isolação 16mm²	93m
Condutor de cobre isolado 16mm²	27m
Haste de aterramento Φ¾" x 2,60m	1
Abraçadeira de ferro galvanizado	1
Parafuso prisioneiro	1
Bucha PVC Φ¾"	2
Arruela de alumínio Φ¾"	2
Concreto magro	0,45m³
Massa epóxi	0,21kg
Quadro de distribuição	
Descrição	**Quantidade**
Quadro de distribuição de energia para 12 disjuntores	6

Tabela A.15 - Quantitativo do projeto elétrico do Prédio Modular Fischer com boiler a gás (cont.)

Quadro de distribuição	
Descrição	**Quantidade**
Disjuntor monopolar	
10A	42
16A	24
25A	12
32A	24
Disjuntor bipolar 60A	1
Interruptor diferencial residual 2P - 60A - 30mA	1
Edificação	
Descrição	**Quantidade**
Fio de cobre eletrolítico - fase	
1,5 mm²	580m
2,5 mm²	1220m
4,0 mm²	110m
Fio de cobre eletrolítico - neutro	
1,5 mm²	360m
2,5 mm²	1220m
4,0 mm²	110m
Fio de cobre eletrolítico - retorno	
1,5 mm²	1352m
Fio de cobre eletrolítico - terra	
2,5 mm²	1220m
4,0 mm²	110m
Eletroduto de PVC	
Φ1/2”	1732m
Φ3/4”	67m
Φ1	365m
Φ1 1/4”	382m
Caixa sextavada	44
Caixa 4"x2"	550
Placa termoplástica 4"x2" com buraco no centro	16
Placa termoplástica 4"x2" com tampa cega	30
Tomada padrão brasileiro (2 polos + terra)	266
Interruptor simples	85
Conjunto com 2 interruptores simples	30
Conjunto com interruptor simples e tomada padrão brasileiro	72

Tabela A.15 - Quantitativo do projeto elétrico do Prédio Modular Fischer com boiler a gás (cont.)

Acessórios	
Descrição	**Quantidade**
Arruela de alumínio Φ1"	16
Bucha de PVC Φ1"	16
Chuveiro simples	16

Tabela A.16 - Quantitativo do projeto hidráulico do Prédio Modular Fischer com boiler a gás

Descrição	Tamanho	Quantidade
Caixa d'água	3000l	1
Bóia para caixa d'água	-	1
Flange	Φ32mm	4
	Φ60mm	2
Tubo PVC	Φ25mm	303m
	Φ32mm	8m
	Φ40mm	32m
	Φ60mm	12m
Joelho 90° PVC	Φ25mm	98
	Φ40mm	5
	Φ60mm	9
Tê 90° PVC	Φ25mm	41
	Φ32mm	4
	Φ40mm	4
	Φ60mm	1
Registro de gaveta	Φ25mm	32
	Φ32mm	4
	Φ60mm	2
Luva PVC	Φ25mm x 3/4"	24
Espuma Isolante 5mm	Φ22mm	170m

Apêndice B – Diagramas de Fluxo

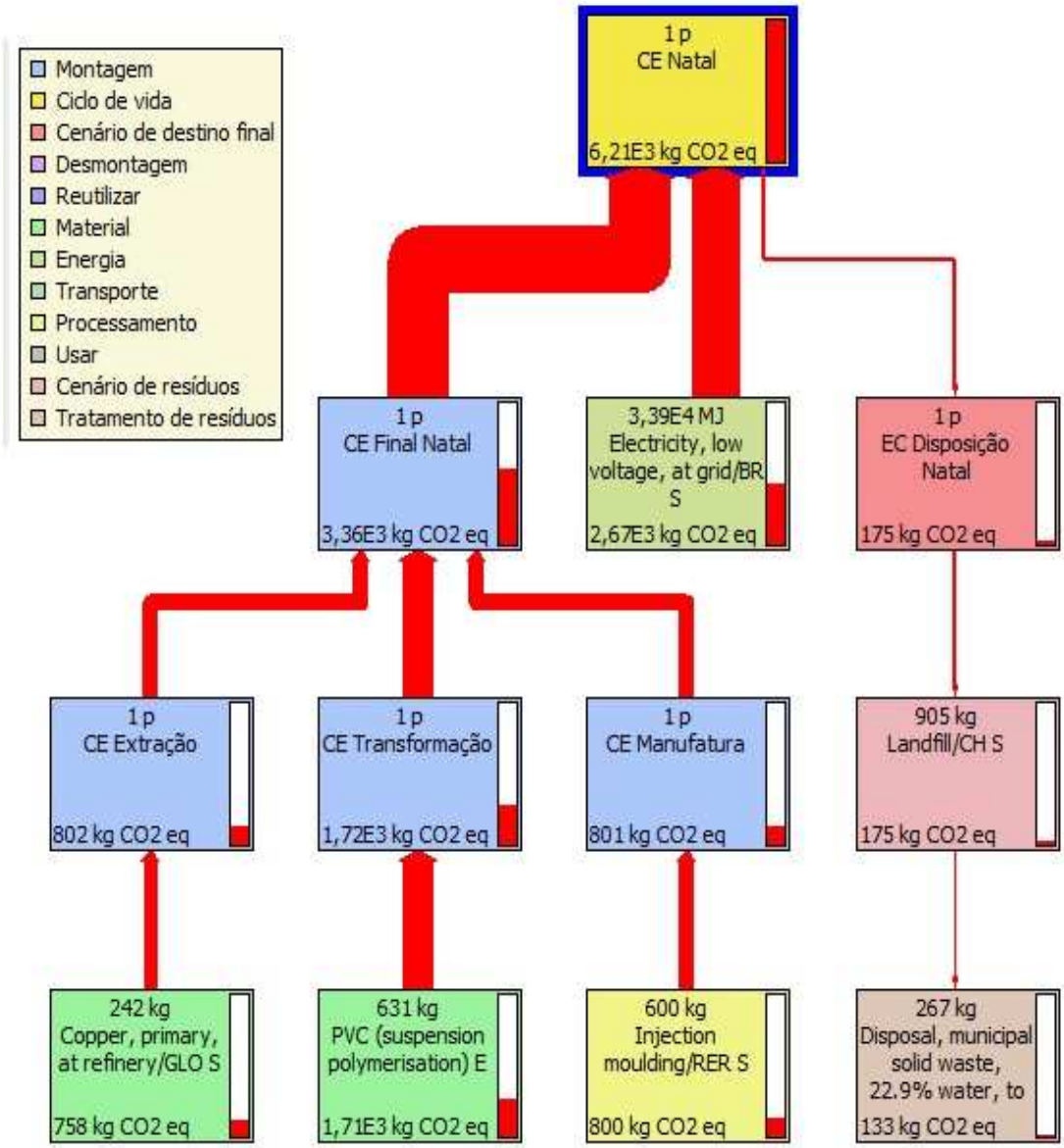

Figura A.1 - Diagrama de fluxo do chuveiro elétrico da casa em Natal

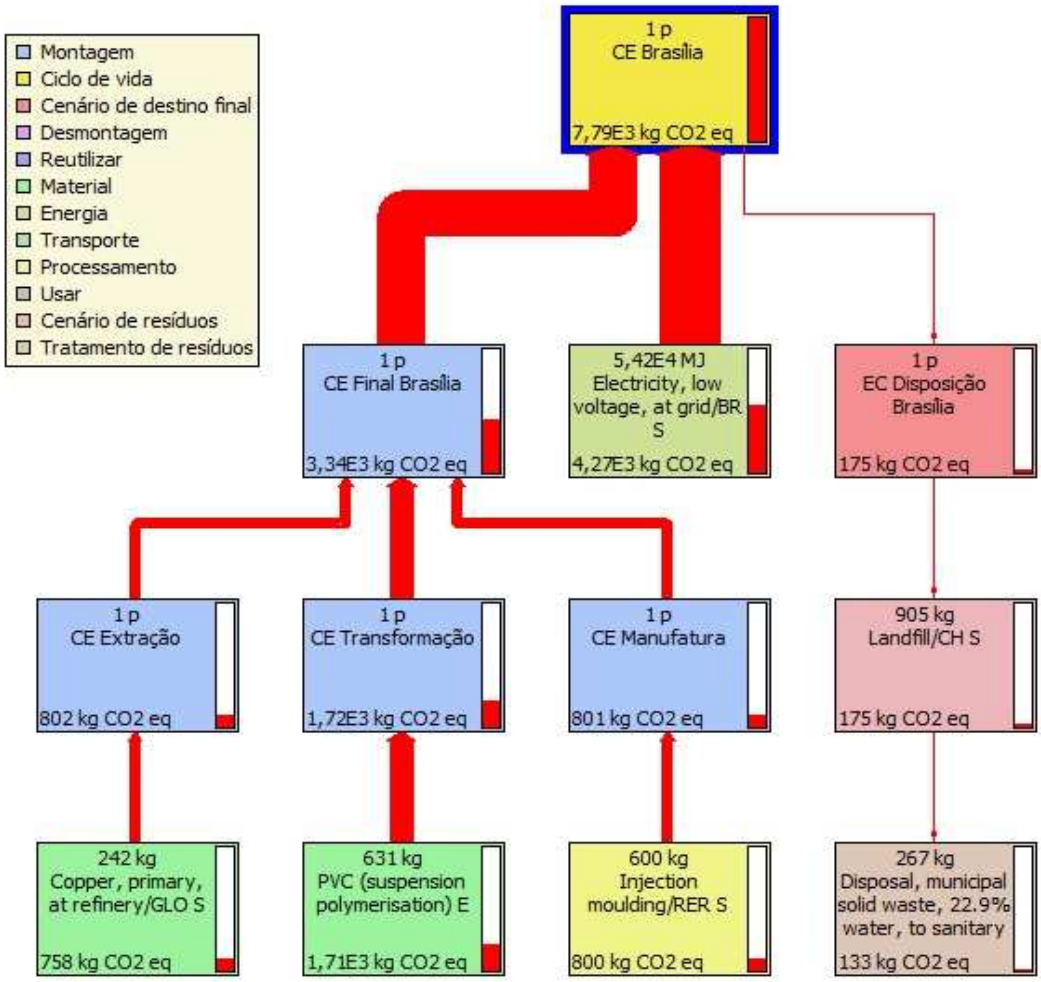

Figura A.2 - Diagrama de fluxo do chuveiro elétrico da casa em Brasília

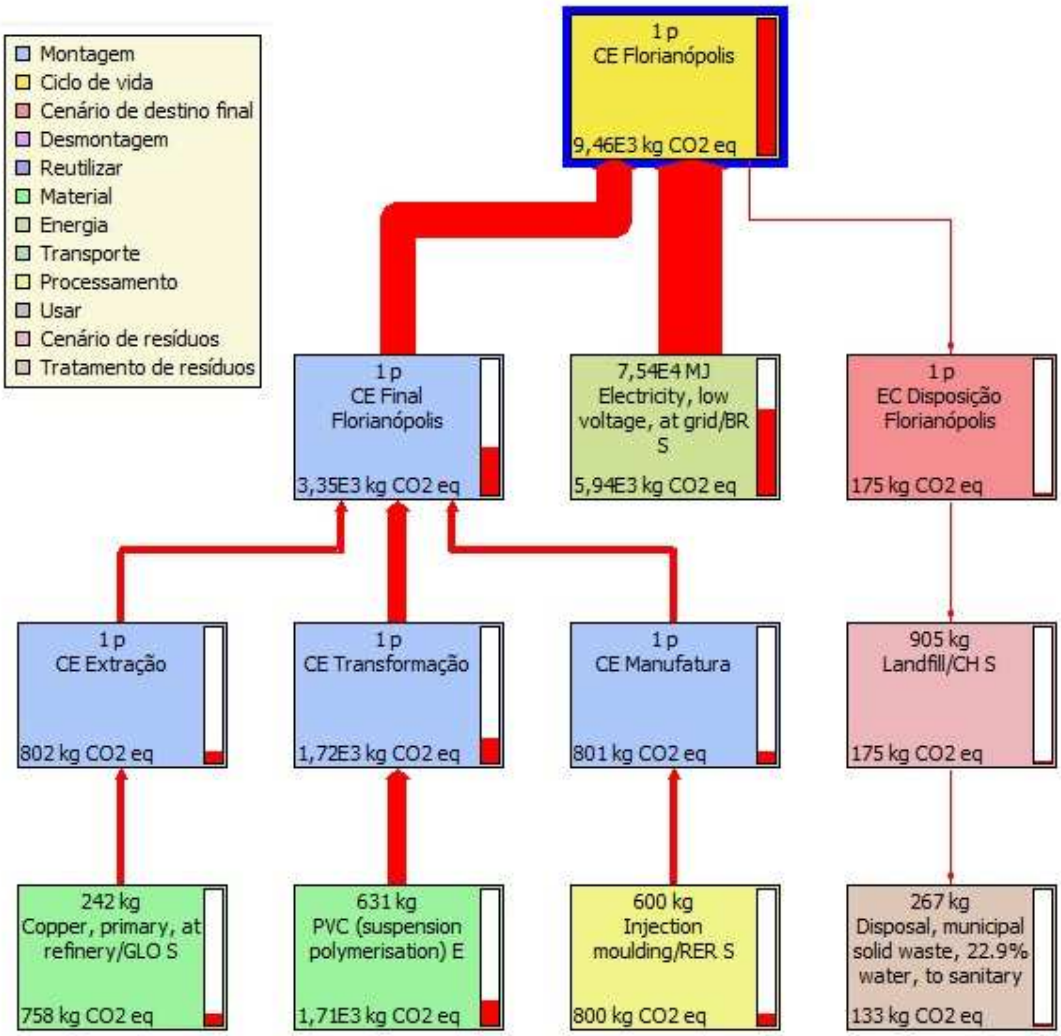

Figura A.3 - Diagrama de fluxo do chuveiro elétrico da casa em Florianópolis

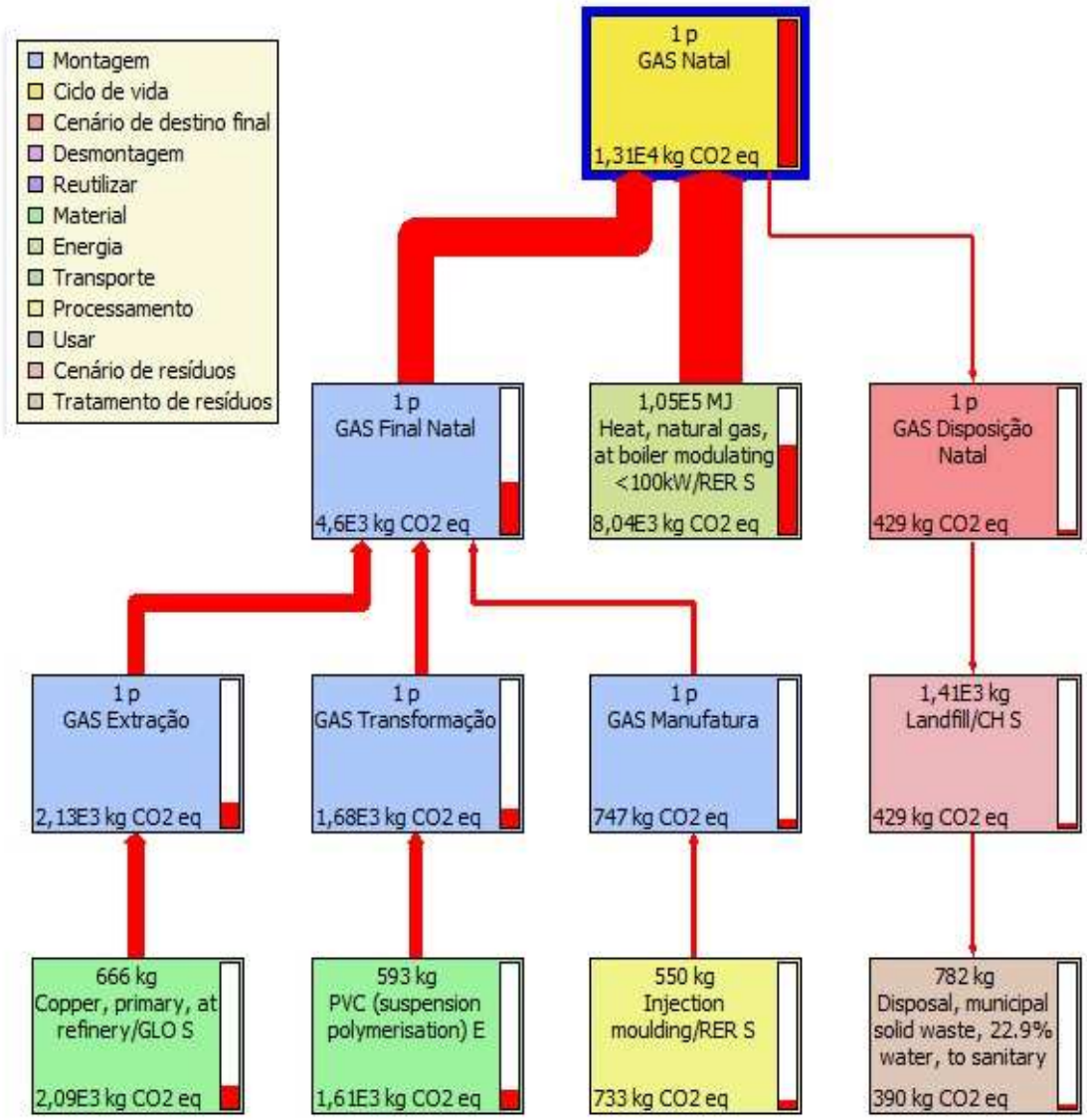

Figura A.4 - Diagrama de fluxo do aquecedor de passagem a gás da casa em Natal

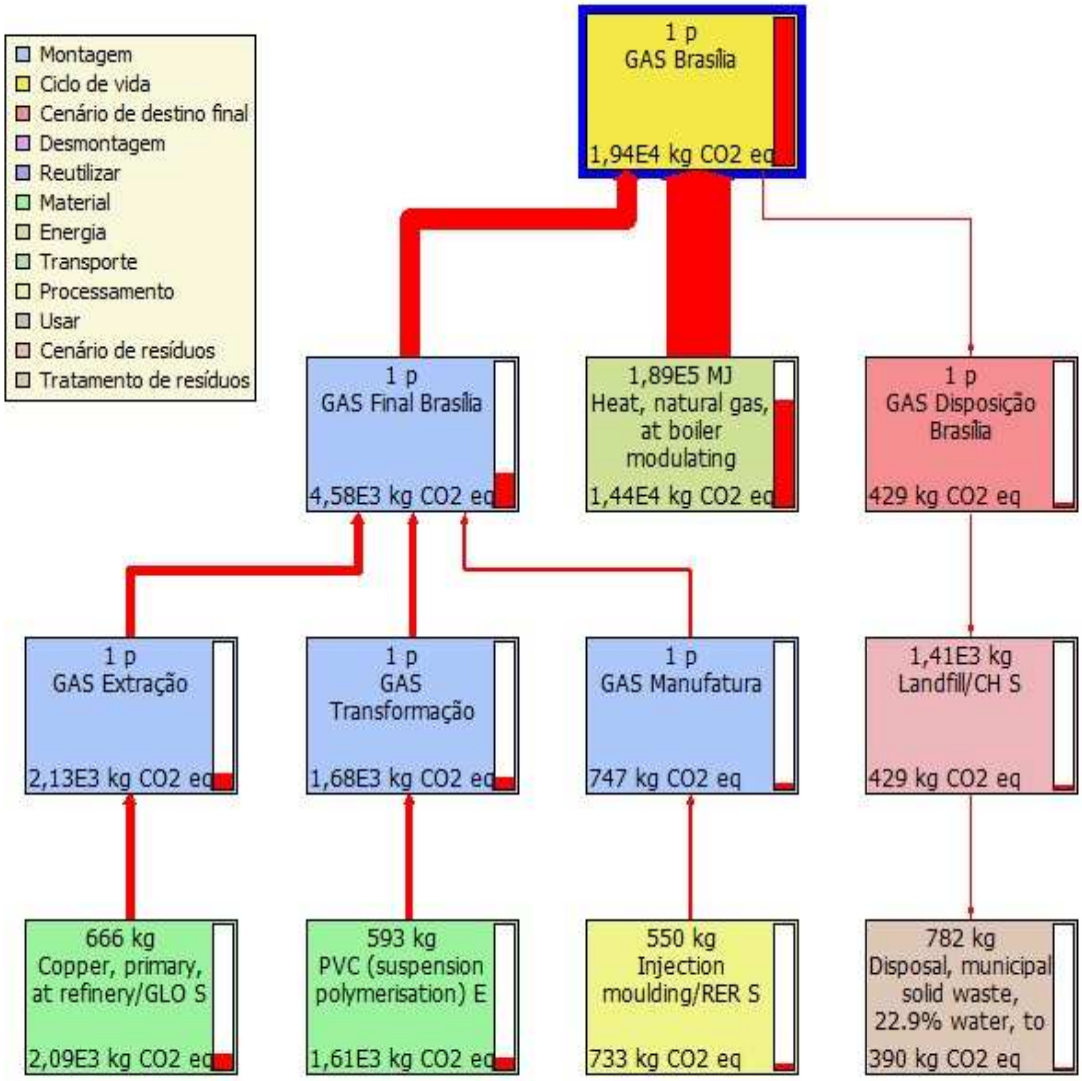

Figura A.5 - Diagrama de fluxo do aquecedor de passagem a gás da casa em Brasília

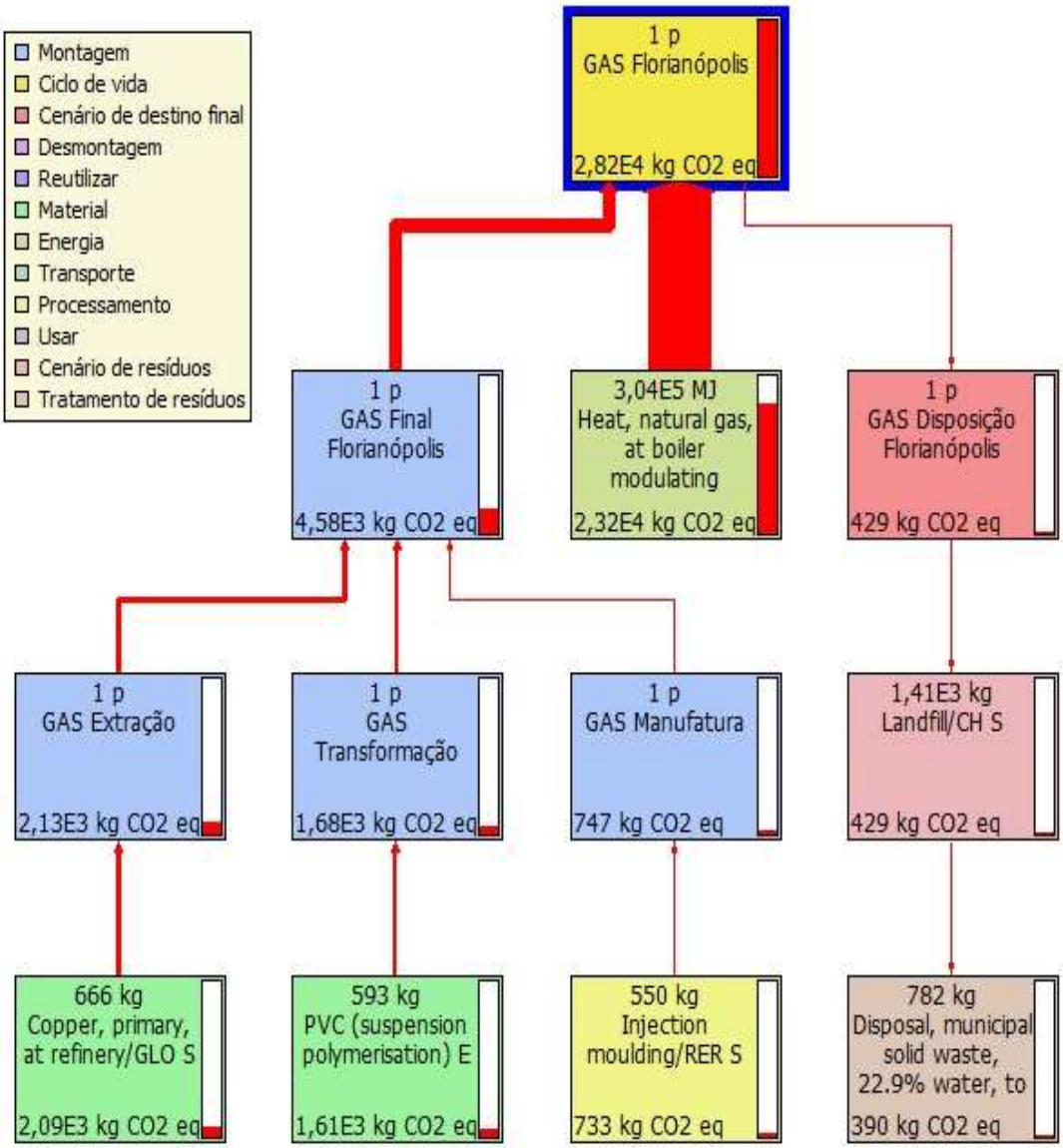

Figura A.6 - Diagrama de fluxo do aquecedor de passagem a gás da casa em Florianópolis

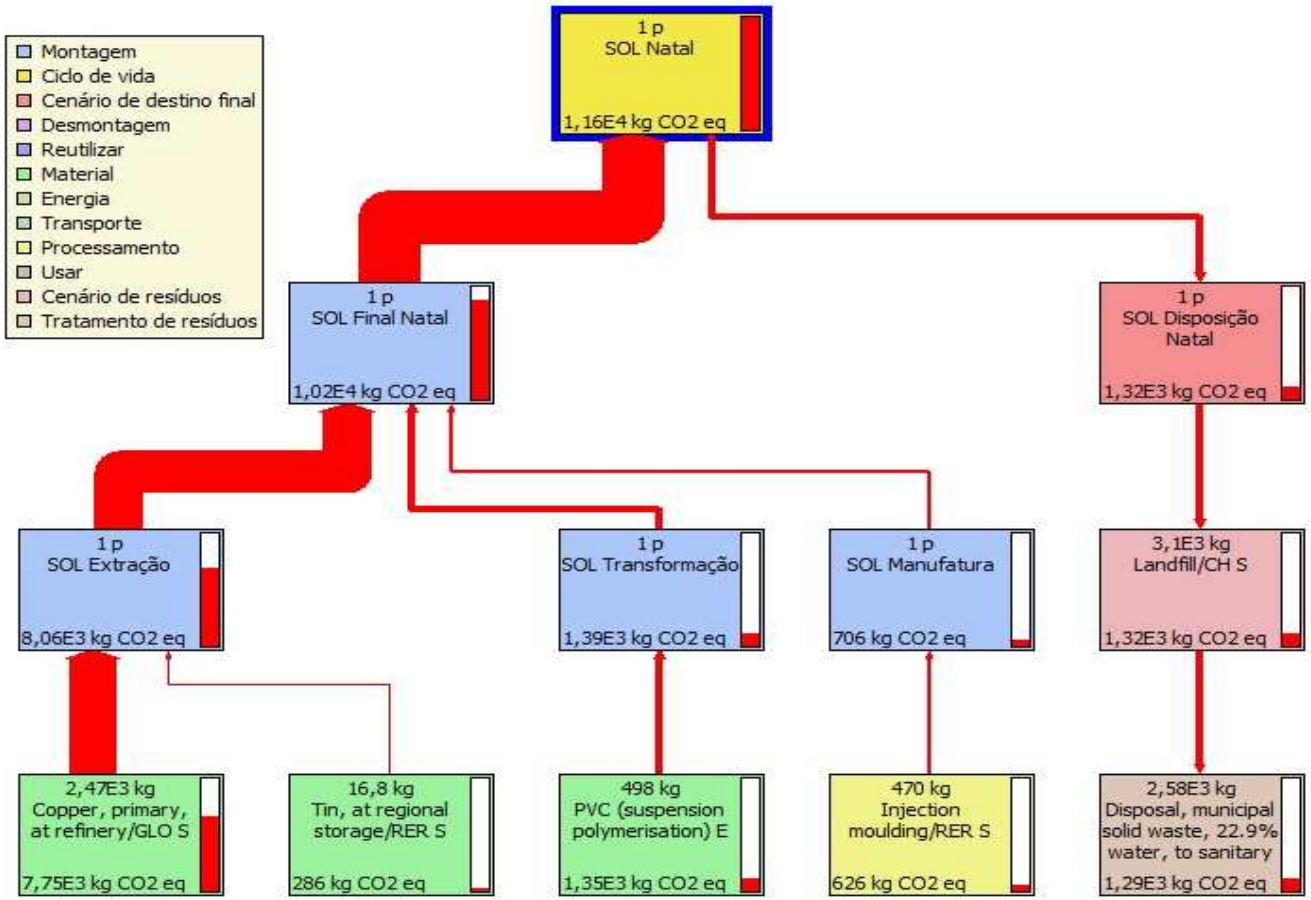

Figura A.7 - Diagrama de fluxo do aquecedor solar com apoio elétrico da casa em Natal

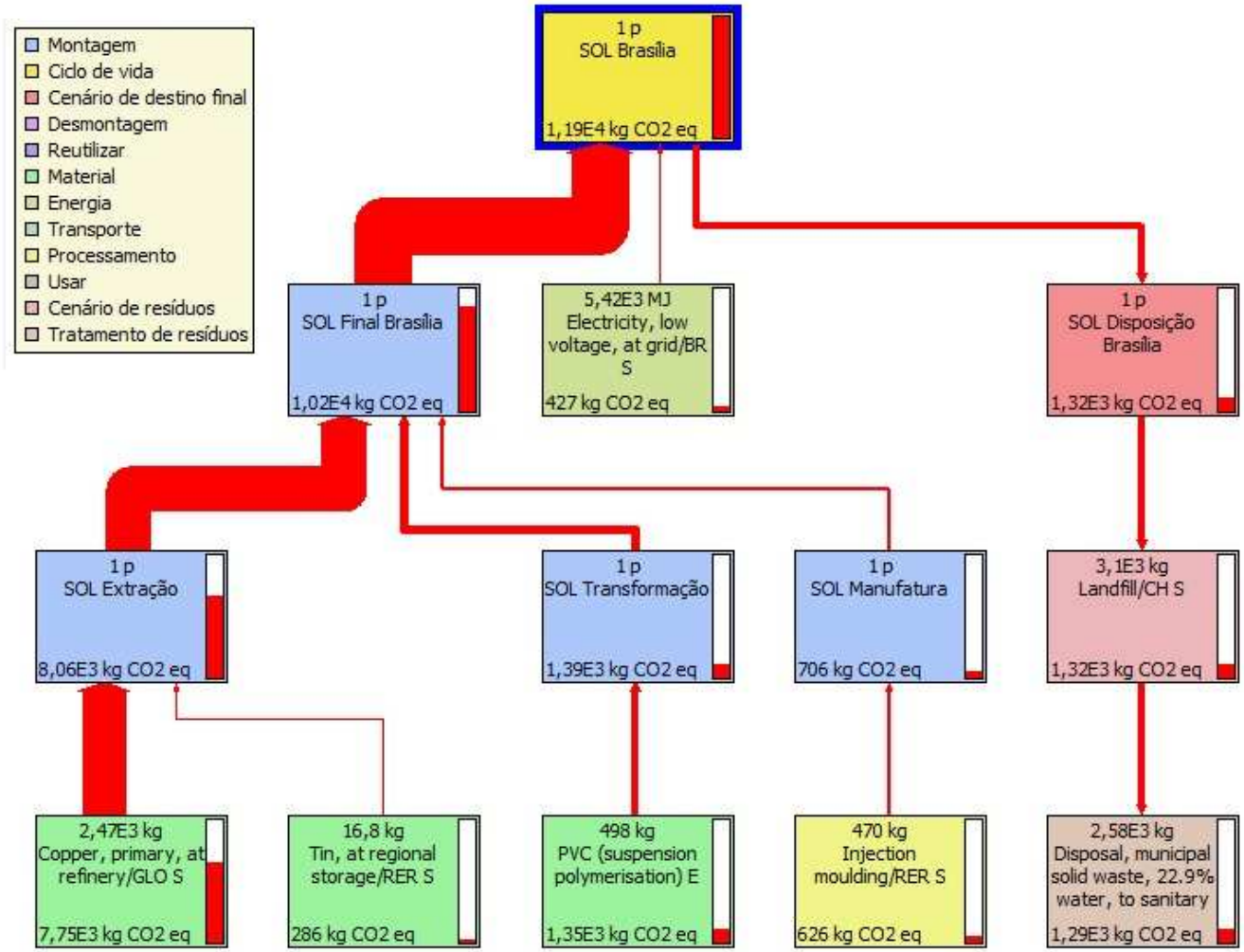

Figura A.8 - Diagrama de fluxo do aquecedor solar com apoio elétrico da casa em Brasília

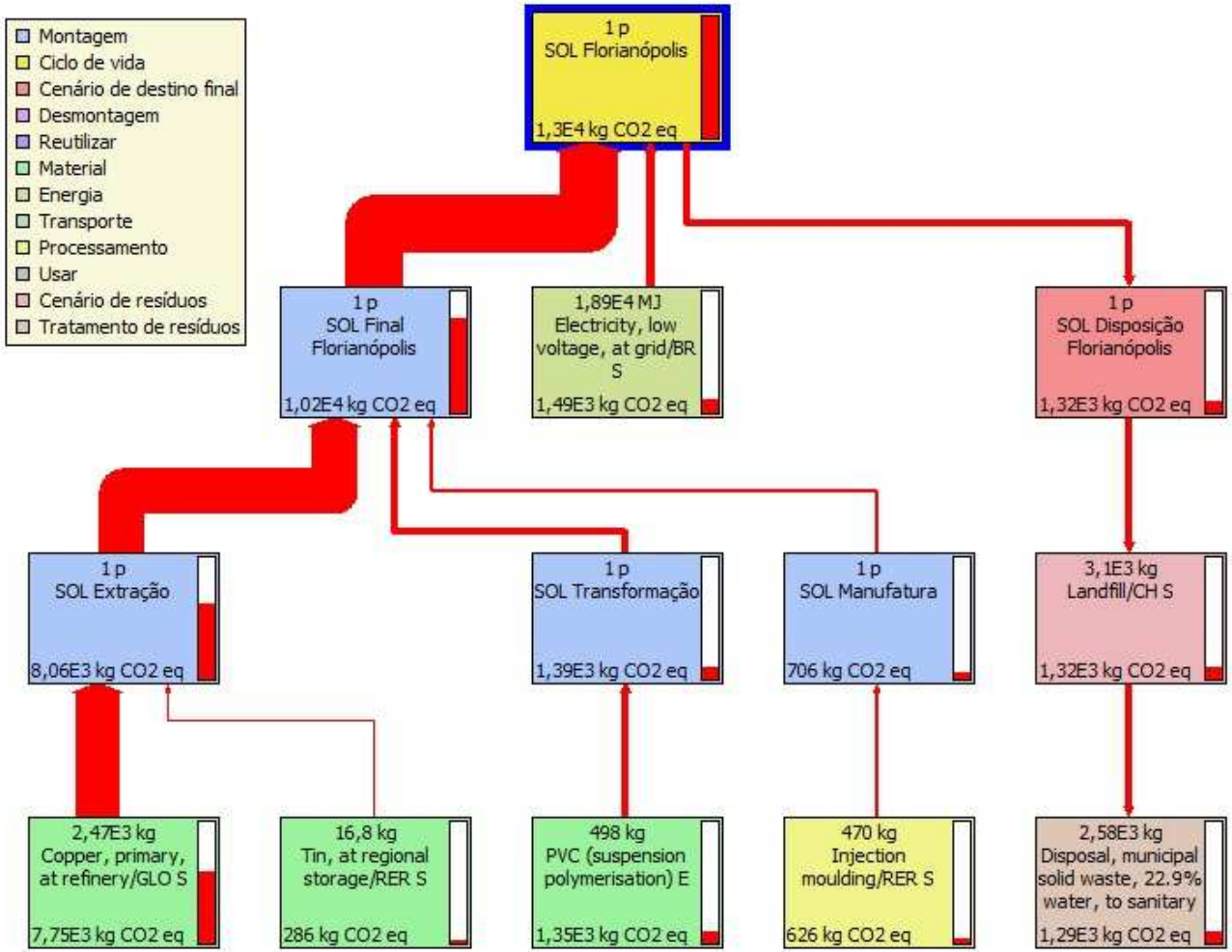

Figura A.9 - Diagrama de fluxo do aquecedor solar com apoio elétrico da casa em Florianópolis

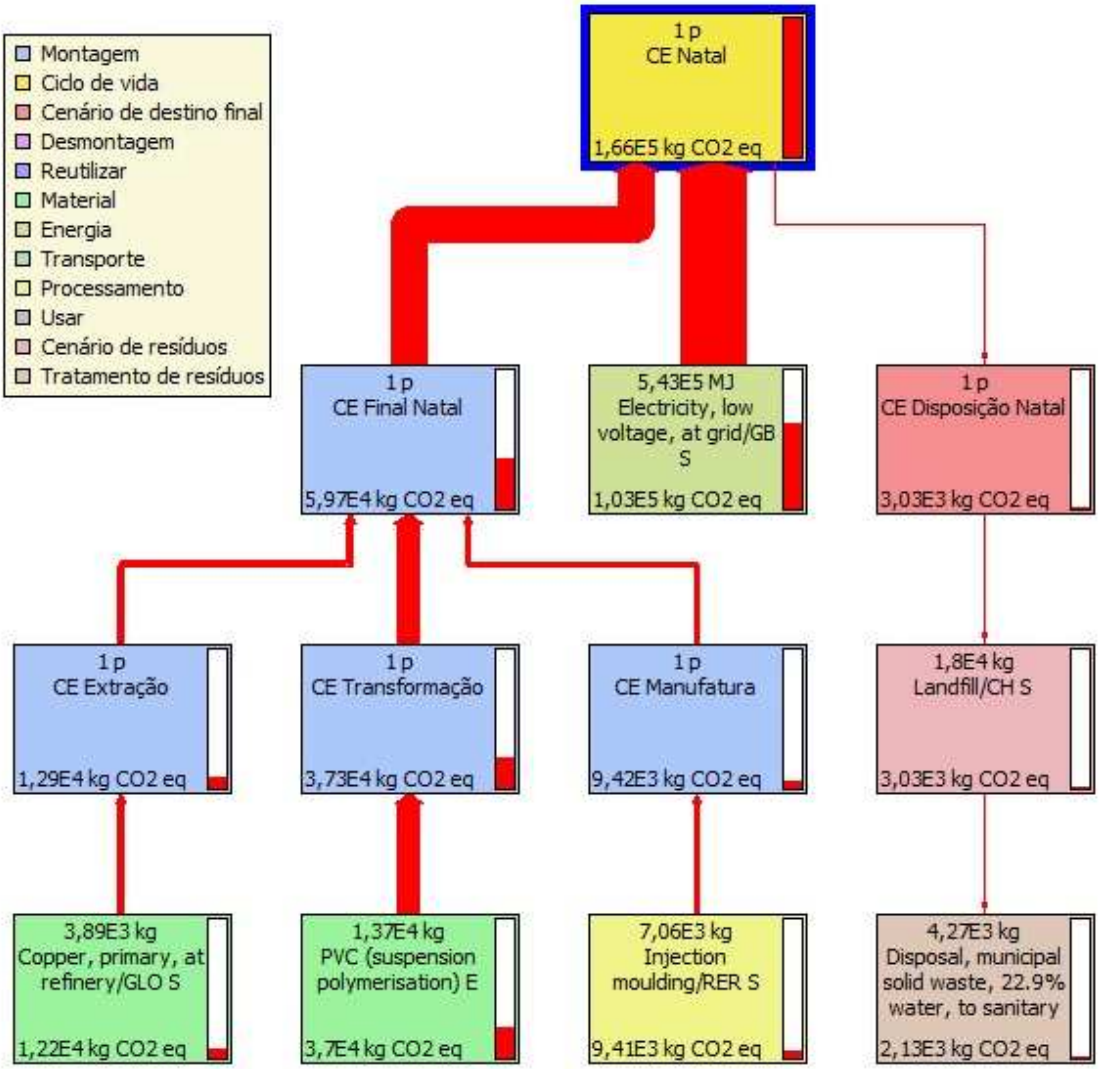

Figura A.10 - Diagrama de fluxo do chuveiro elétrico do prédio em Natal

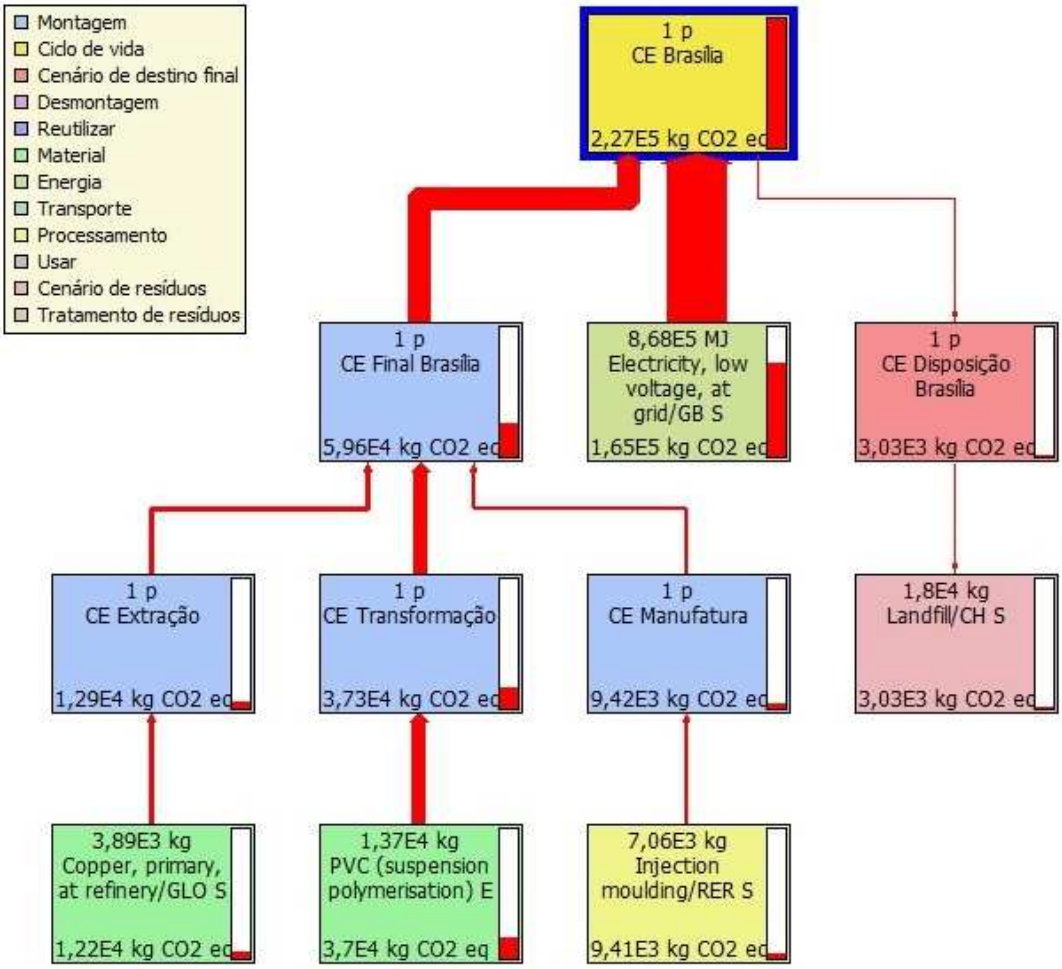

Figura A.11 - Diagrama de fluxo do chuveiro elétrico do prédio em Brasília

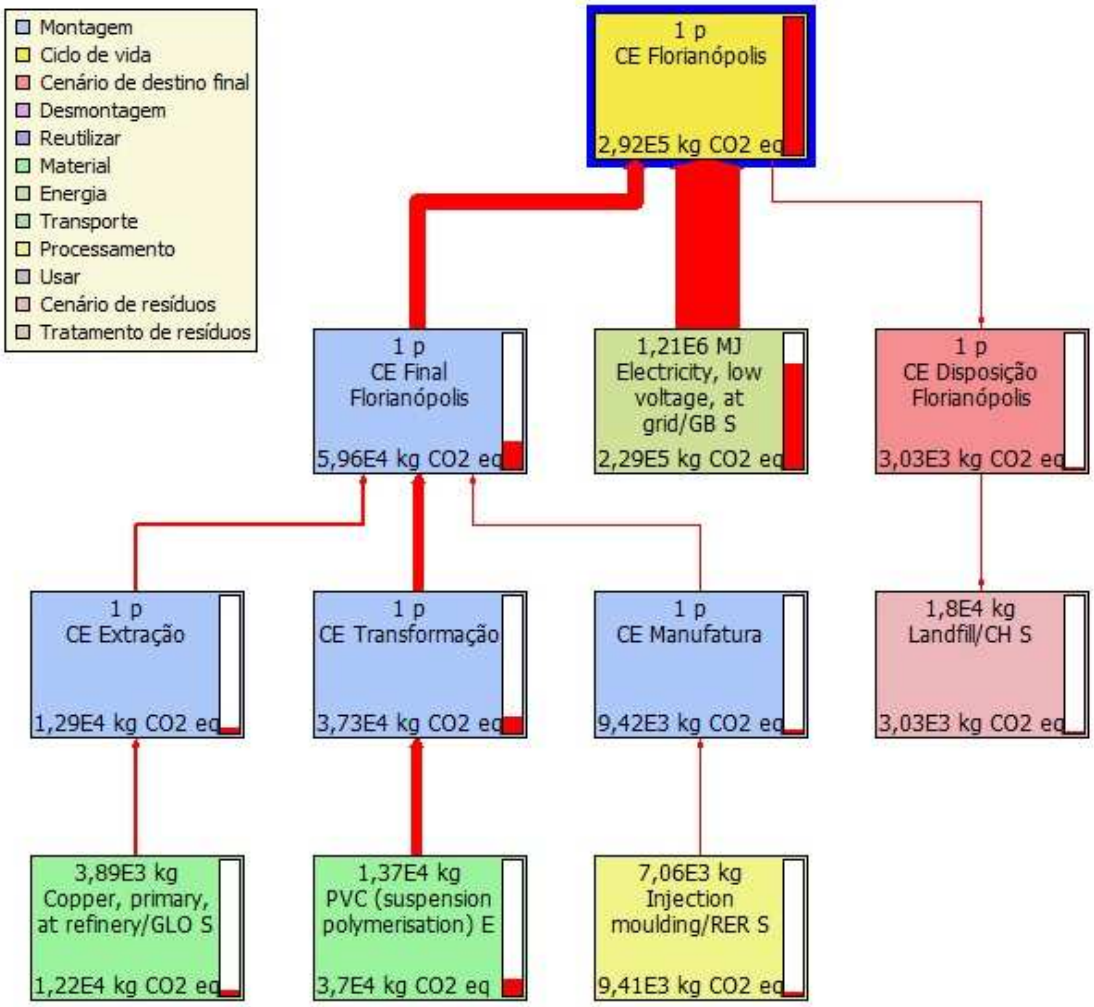

Figura A.12 - Diagrama de fluxo do chuveiro elétrico do prédio em Florianópolis

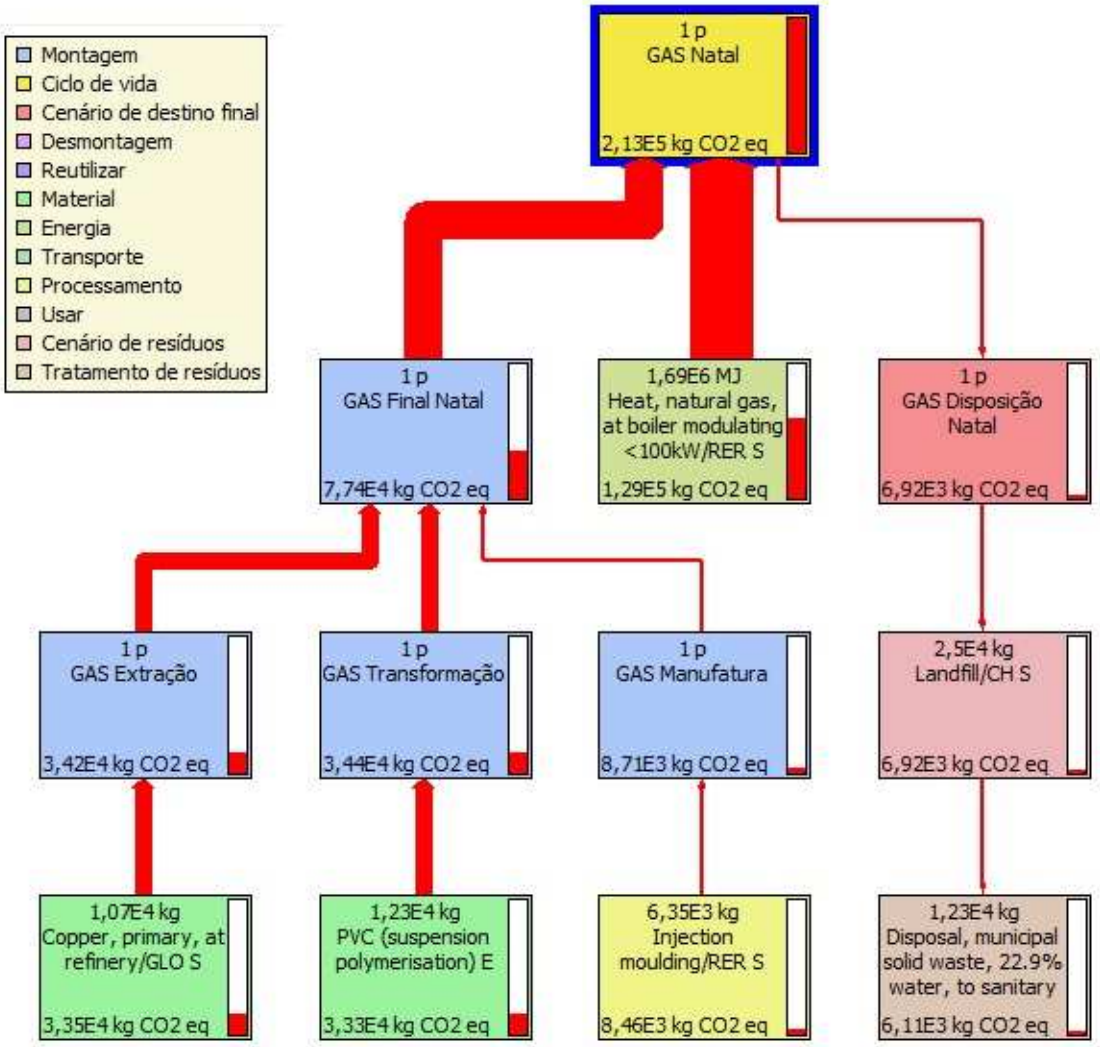

Figura A.13 - Diagrama de fluxo do aquecedor de passagem a gás do prédio em Natal

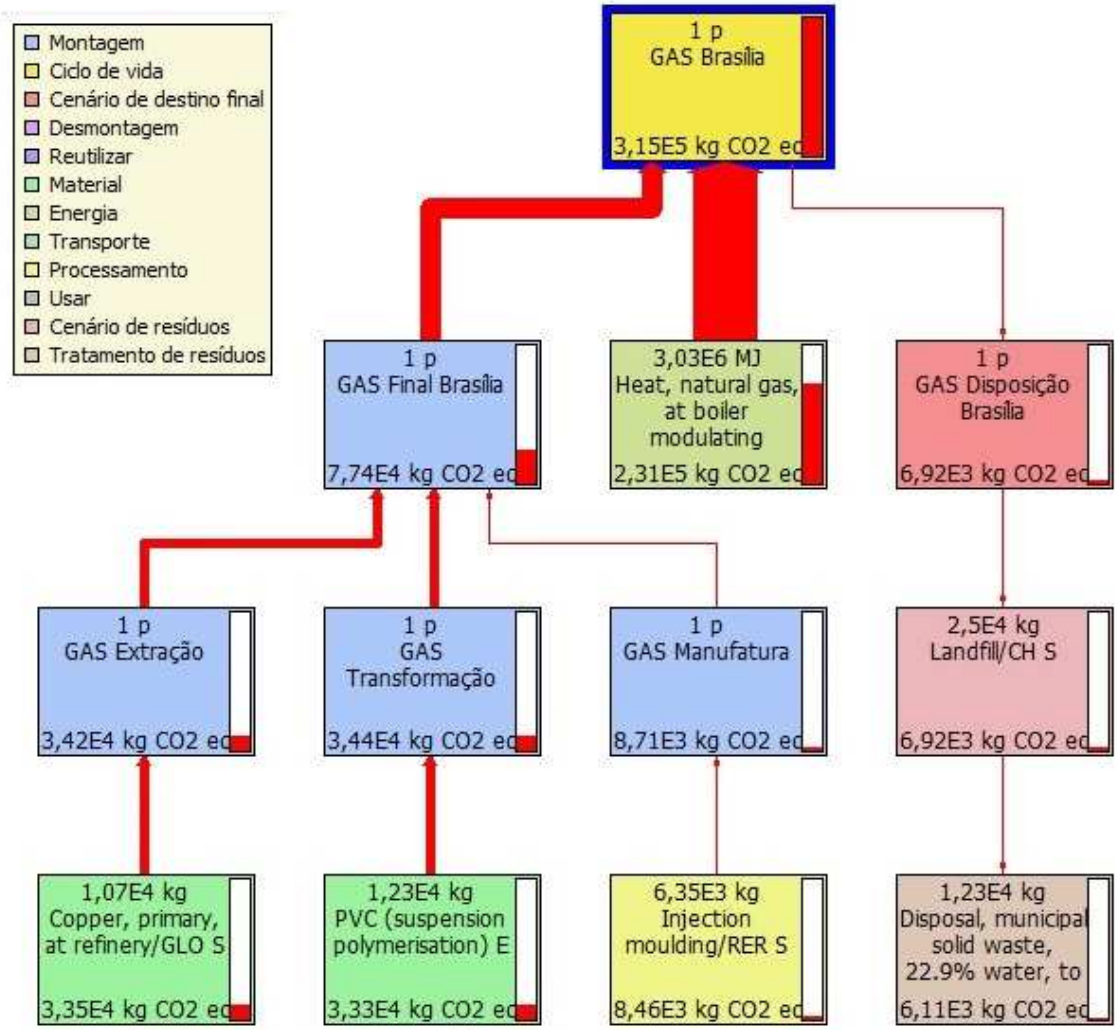

Figura A.14 - Diagrama de fluxo do aquecedor de passagem a gás do prédio em Brasília

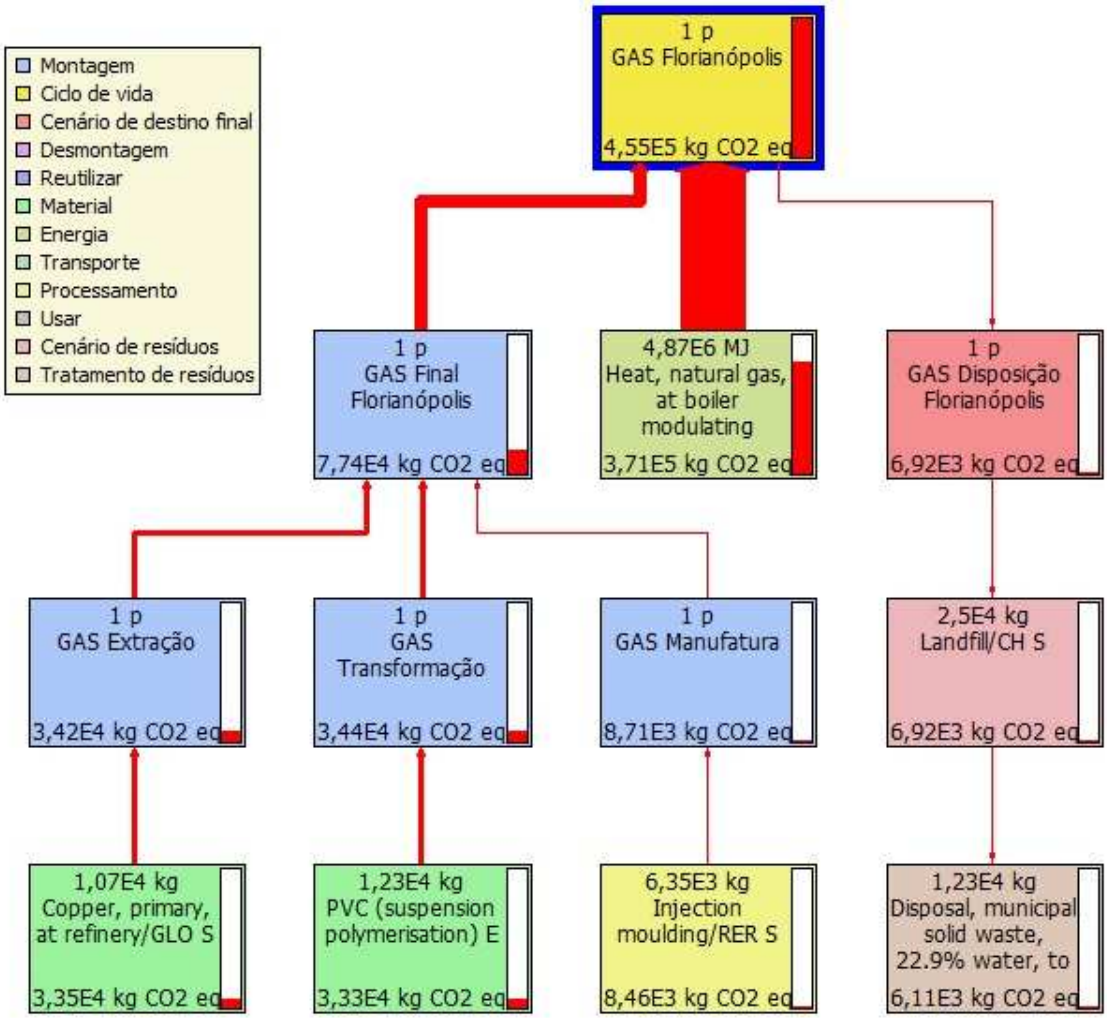

Figura A.15 - Diagrama de fluxo do aquecedor de passagem a gás do prédio em Florianópolis

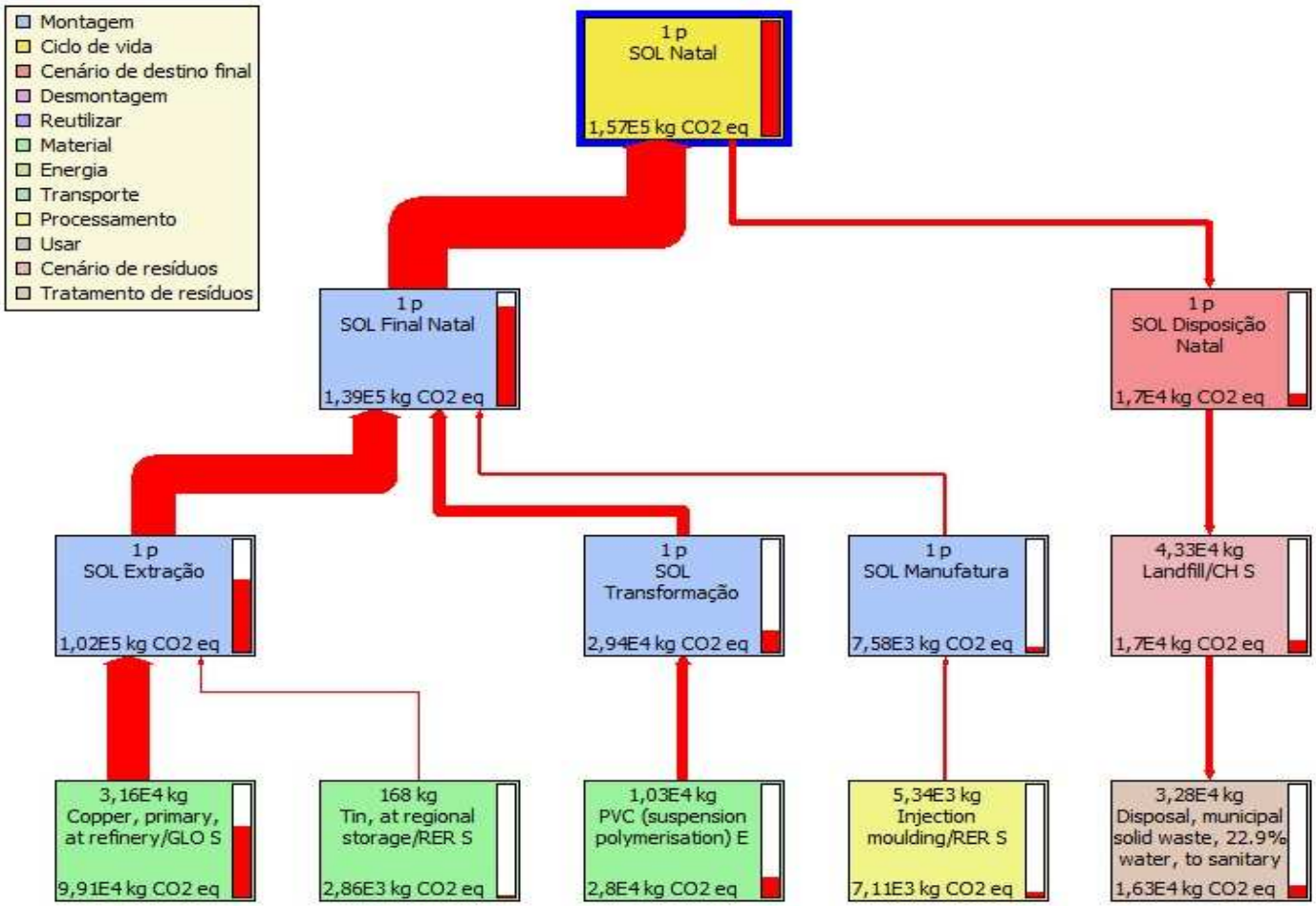

Figura A.16 - Diagrama de fluxo do aquecedor solar com apoio elétrico do prédio em Natal

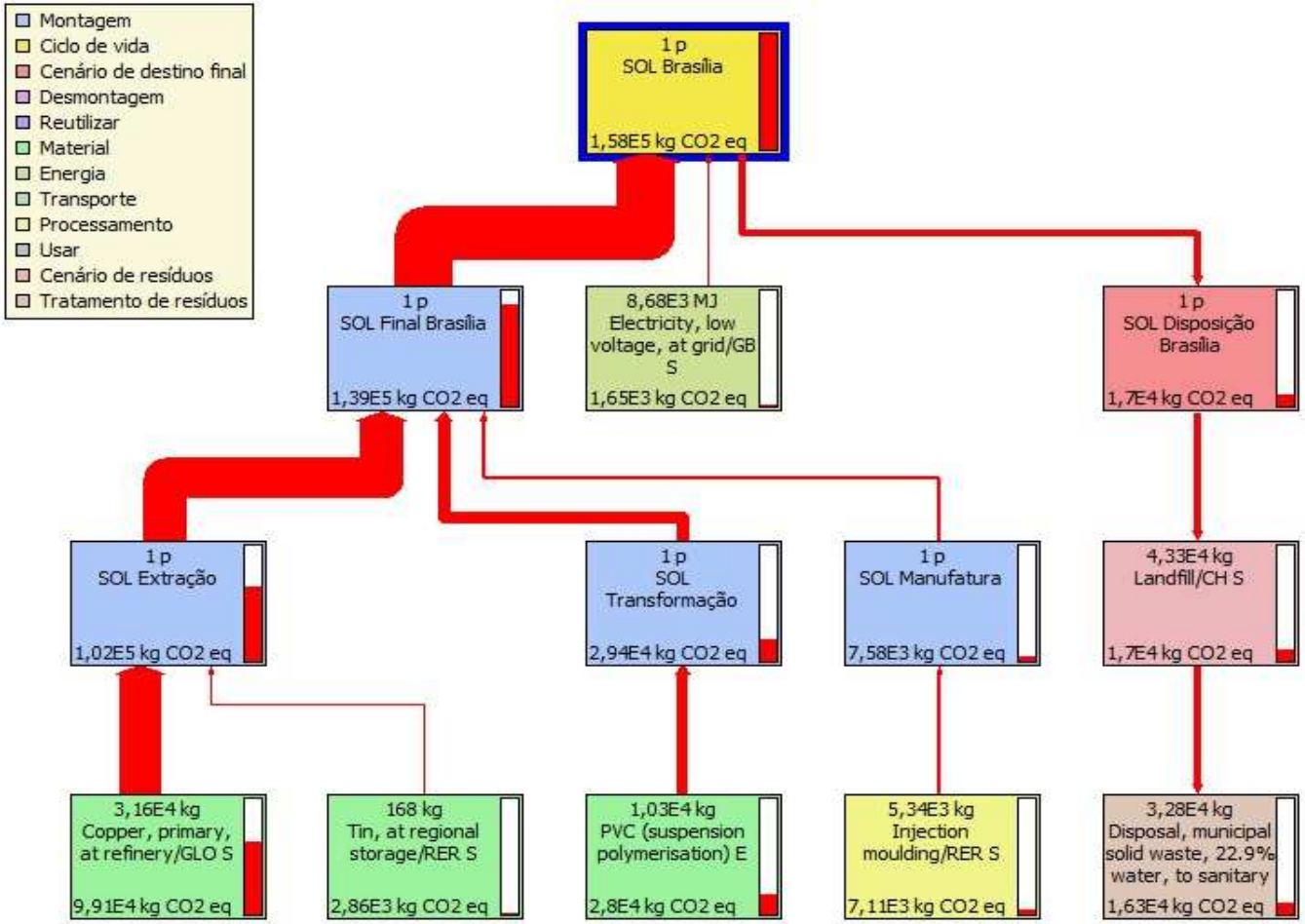

Figura A.17 - Diagrama de fluxo do aquecedor solar com apoio elétrico do prédio em Brasília

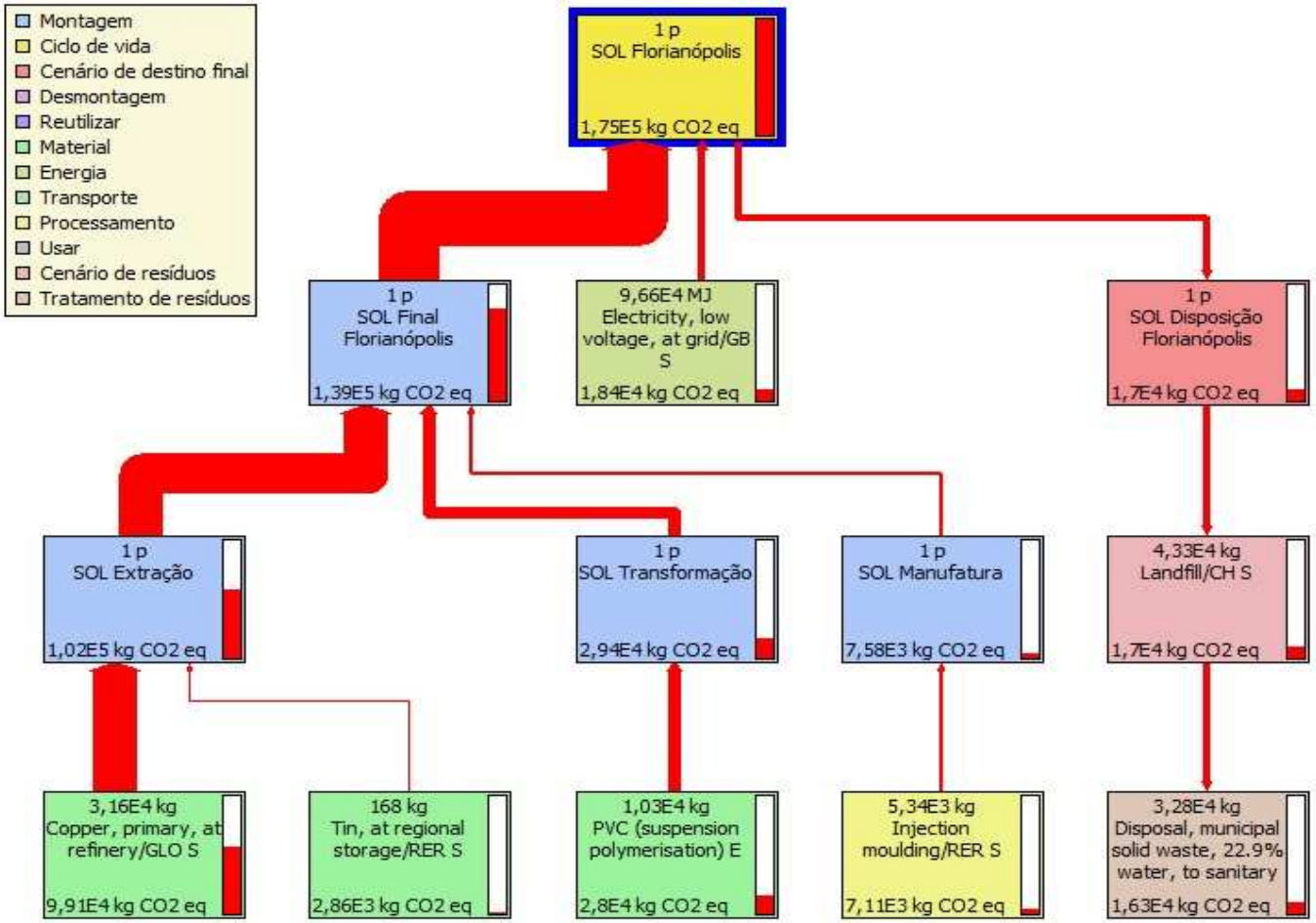

Figura A.18 - Diagrama de fluxo do aquecedor solar com apoio elétrico do prédio em Florianópolis

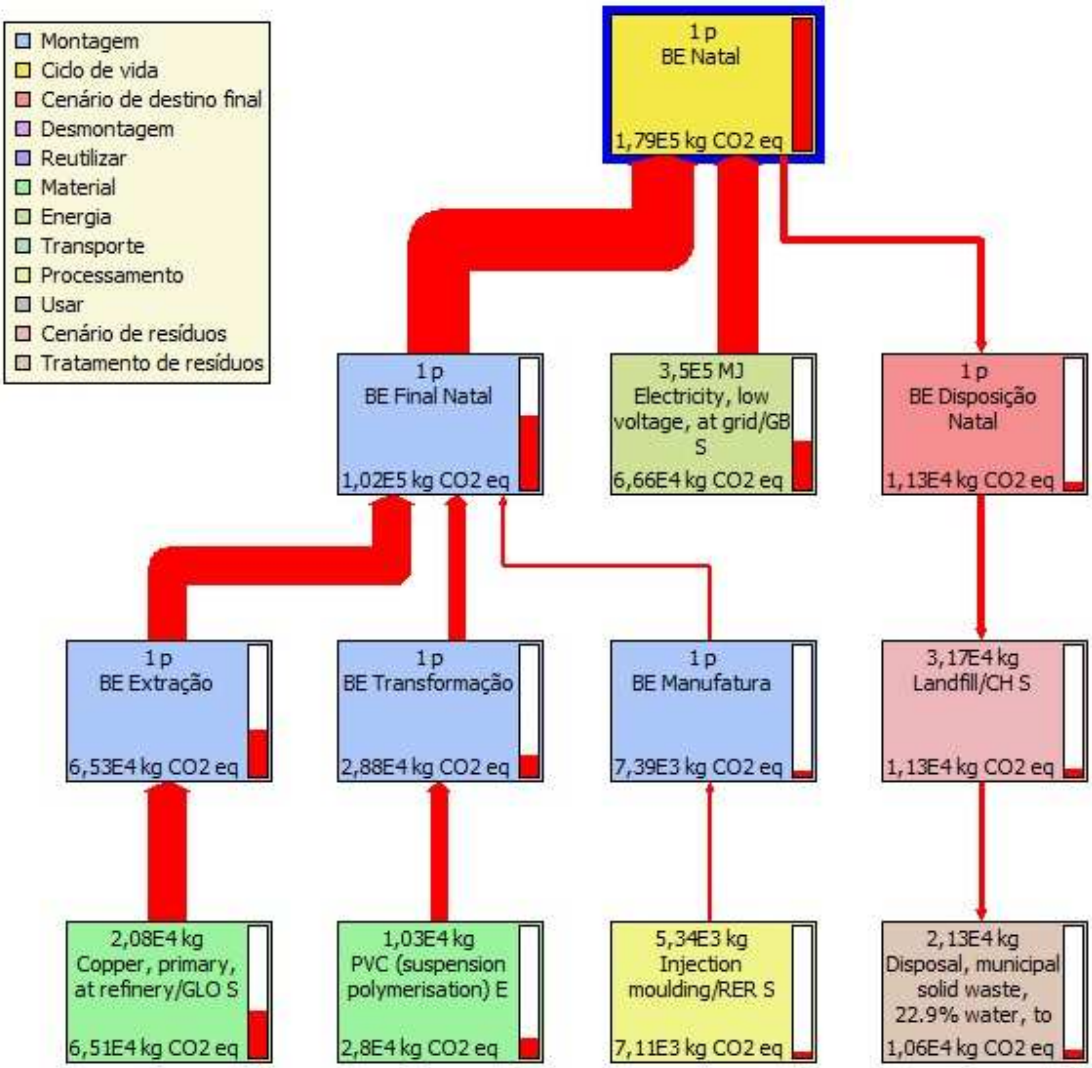

Figura A.19 - Diagrama de fluxo do boiler elétrico do prédio em Natal

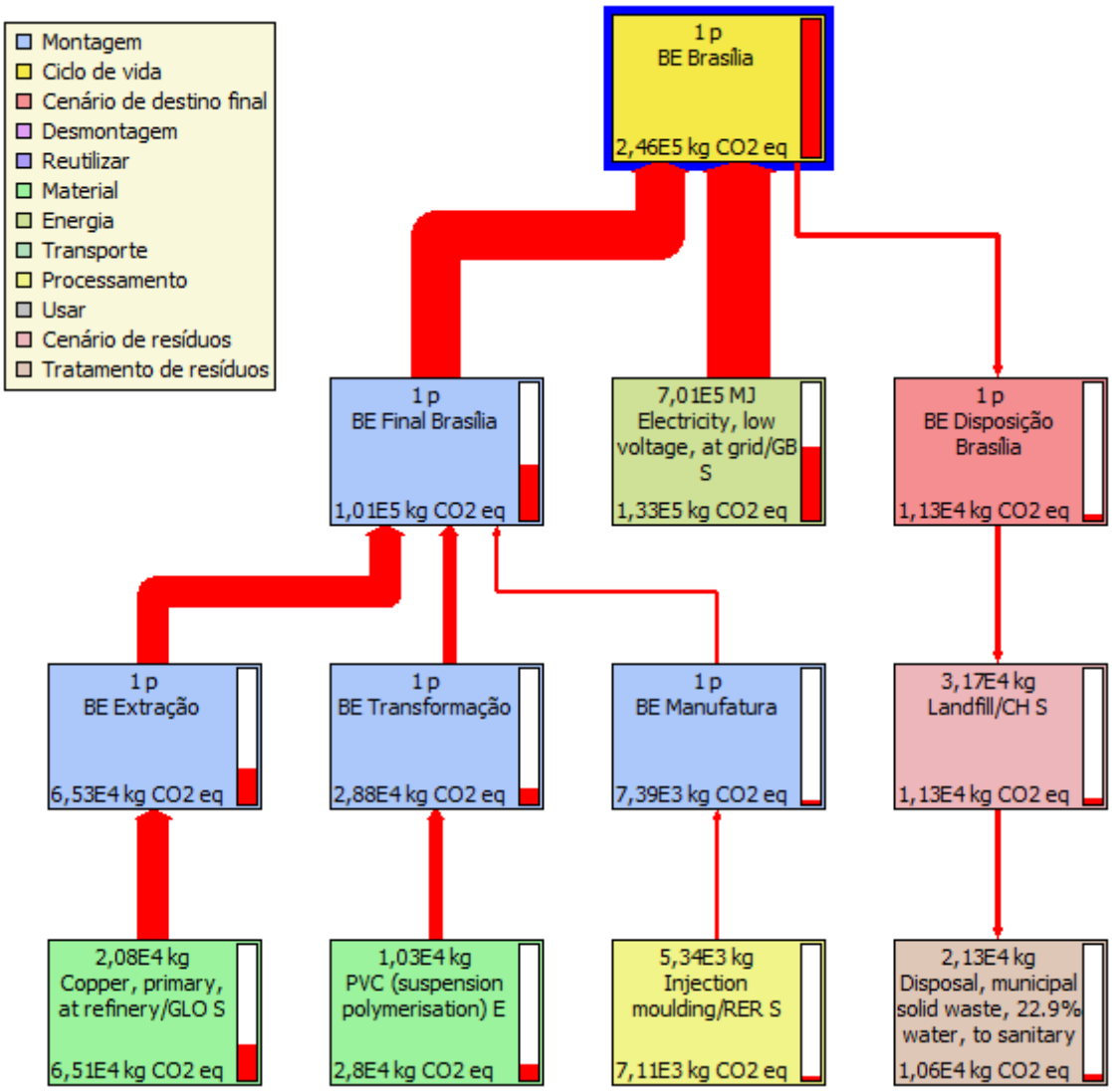

Figura A.20 - Diagrama de fluxo do boiler elétrico do prédio em Brasília

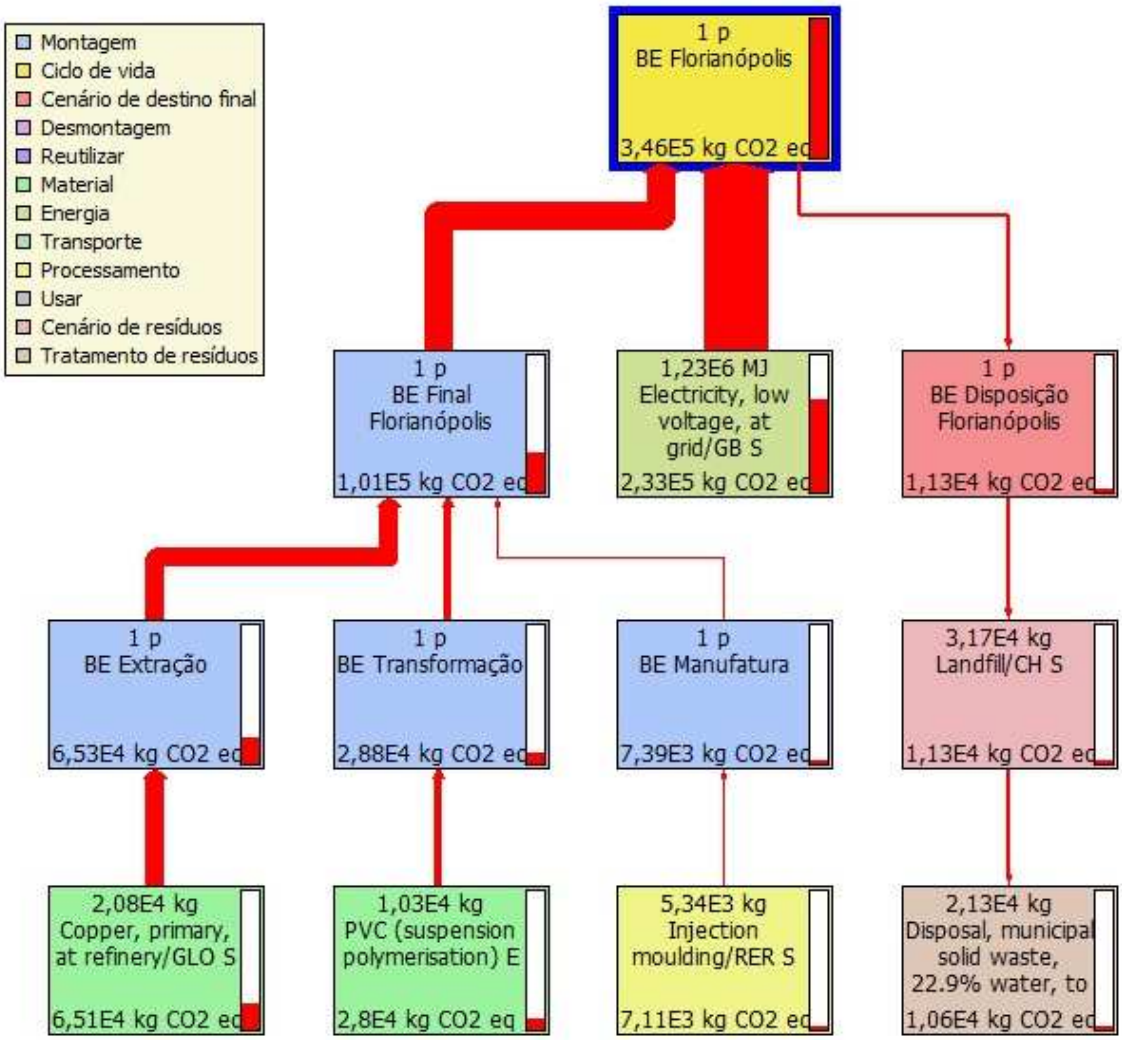

Figura A.21 - Diagrama de fluxo do boiler elétrico do prédio em Florianópolis

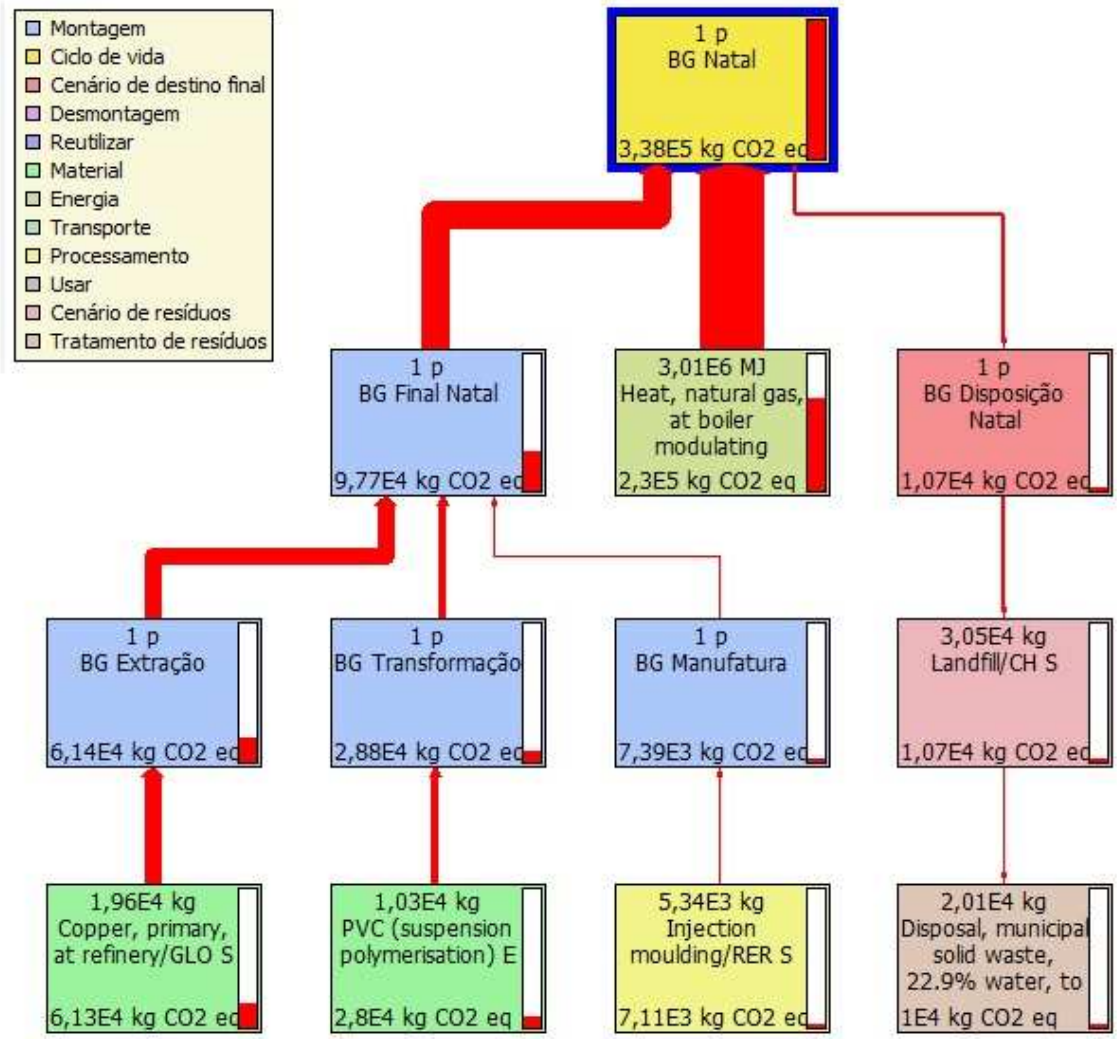

Figura A.22 - Diagrama de fluxo do boiler a gás do prédio em Natal

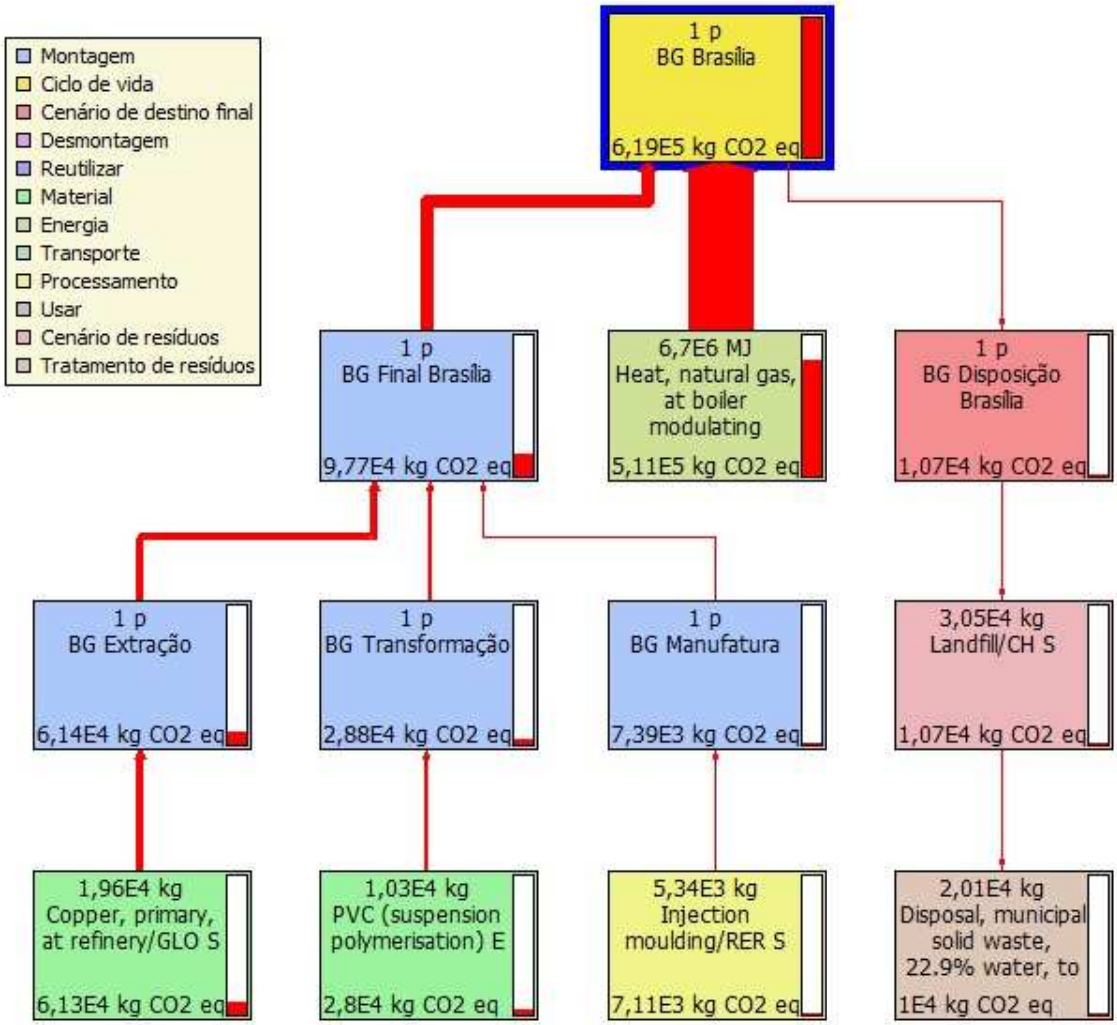

Figura A.23 - Diagrama de fluxo do boiler a gás do prédio em Brasília

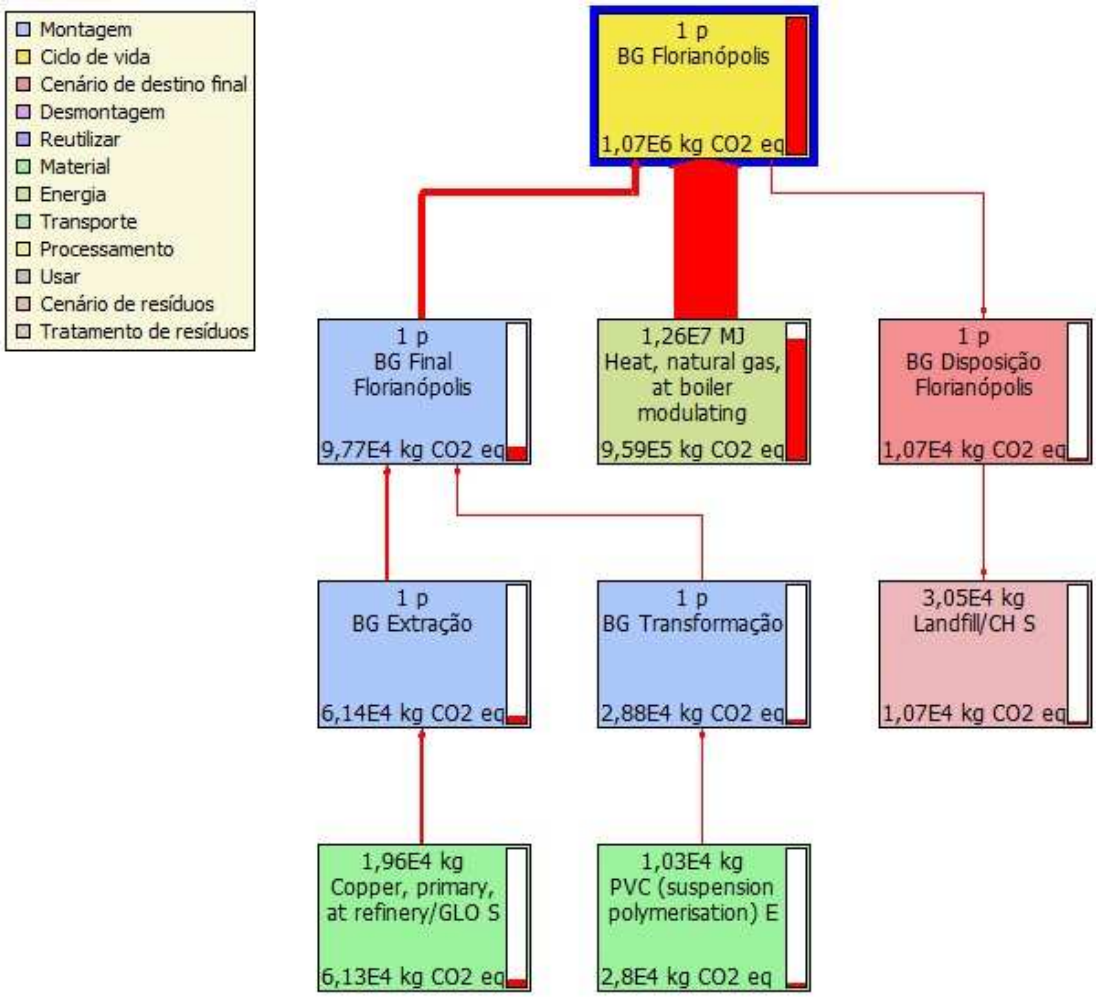

Figura A.24 - Diagrama de fluxo do boiler a gás do prédio em Florianópolis