



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
ESCOLA POLITÉCNICA & ESCOLA DE QUÍMICA  
PROGRAMA DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**Arthur Bastos Silva**

# **AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA EM SISTEMAS PREDIAIS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA:**

**COMPARATIVO DE IMPACTOS ENTRE SISTEMA SOLAR E A GÁS COMO  
FONTE DE TOMADA DE DECISÃO DE PROJETO**

Rio de Janeiro  
2019



Arthur Bastos Silva

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA EM SISTEMAS PREDIAIS DE  
AQUECIMENTO DE ÁGUA:  
COMPARATIVO DE IMPACTOS ENTRE SISTEMA SOLAR E A GÁS COMO  
FONTE DE TOMADA DE DECISÃO DE PROJETO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof Assed Naked Haddad, D.Sc.  
Co-orientadora: Prof<sup>a</sup> Elaine Garrido Vazquez, D. Sc.

Rio de Janeiro  
2019

Silva, Arthur Bastos.

Estudo Comparativo de Consumo e Impactos do Ciclo de Vida de Sistemas de Aquecimento de Água: Aplicação de ACV em Sistemas de Aquecimento Solar e a Gás em Edificações Residenciais Multifamiliares na Cidade do Rio de Janeiro – 2019. XXXX f.: il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica & Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2019.

Orientador: Assed Naked Haddad, D. Sc.

Co-orientadora: Prof<sup>a</sup> Elaine Garrido Vazquez, D. Sc.

1. ACV. 2. Sistemas prediais de aquecimento de água. 3. Impactos ambientais. 4. Aquecimento solar de água. 5. Aquecimento de água a gás. I. Haddad, Assed Naked. Vazquez, Elaine Garrido. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica & Escola de Química. III. Mestrado.



Arthur Bastos Silva

ESTUDO COMPARATIVO DE CONSUMO E IMPACTOS DO CICLO DE VIDA  
DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA:

APLICAÇÃO DE ACV EM SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR E A GÁS  
EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS MULTIFAMILIARES NA CIDADE DO RIO  
DE JANEIRO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof Assed Naked Haddad, D.Sc.

Co-orientadora: Prof<sup>a</sup> Elaine Garrido Vazquez, D. Sc.

Aprovada pela banca:

---

Presidente, Prof. Assed Naked Haddad, D. Sc. UFRJ.

---

Prof<sup>a</sup>. Paulo Roberto Pereira Andery. D. Sc. UFMG

---

Prof<sup>a</sup>. Diego André Vasco D. Sc. USACH

---

Prof<sup>a</sup>. Susanne Hoffmann, D. Sc. UFRJ.

Rio de Janeiro  
2019

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a todos que acreditam que engenharia é mais do que progresso e tecnologia, é também parte de uma sociedade que necessita de aprender que para se organizar e progredir, é sempre necessário olhar em volta, se atentar para o meio que a circunda e para a própria identidade coletiva de diversidade; aos que prezam pela engenharia consciente e inserida na realidade das disparidades sociais e que transformam seu trabalho em um reflexo deste conhecimento.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha mãe, Cinara, e à mãe dela, minha segunda mãe, Onice, a quem devo muito do que tenho de resiliência e vontade de perseverar; Rafael, por todas as ajudas diárias, amor e constante paciência, aos amigos próximos que torceram; Elaine, mais que orientadora, amiga e sem a qual este trabalho não estaria completo.

## RESUMO

Silva, Arthur Bastos. Estudo Comparativo de Consumo e Impactos do Ciclo de Vida de Sistemas de Aquecimento de Água: Aplicação de ACV em Sistemas de Aquecimento Solar e a Gás em Edificações Residenciais Multifamiliares na Cidade do Rio de Janeiro.

Os edifícios são grandes responsáveis pelo consumo energético e emissões potenciais de gases do efeito estufa ao longo de seu ciclo de vida. Neste panorama, os sistemas de aquecimento de água são instalações que contribuem para o consumo energético predial, principalmente em edificações residenciais, ao longo da fase de utilização dos mesmos. A variabilidade de possibilidades disponíveis no que diz respeito à escolha das fontes energéticas, sistemas de reserva e distribuição de água e seleção dos materiais empregados nestes sistemas prediais permite, em fase de projeto, diversas tomadas de decisão. Muitas vezes, a definição da tipologia da instalação a ser empregada em uma edificação, é definida, a priori, por uma decisão técnico-econômica envolvendo partes interessadas no processo de elaboração de projeto e construção do empreendimento. No entanto, o espectro de possibilidades de instalação, deveria considerar o consumo de recursos e geração de impactos ambientais ao longo do ciclo de vida destas instalações e das edificações como um todo, fatores ainda nebulosos no que concerne à decisão pela utilização de uma ou outra tipologia de sistema. O estudo em questão visa apresentar um método específica para aplicação de ferramenta de gestão ambiental, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), em tais sistemas de água quente na fase de projeto da edificação através do estudo comparativo de sistemas de aquecimento de água por via solar e sistemas de aquecimento com fonte a gás para uma edificação residencial multifamiliar a ser construída na cidade do Rio de Janeiro. O método se aplica na fase de pré-uso ou construção, de forma a possibilitar a obtenção de informações relevantes no que concerne ao desempenho ambiental dos sistemas prediais de água quente e aquecimento de água, a fim de auxiliar no processo decisório da equipe técnica envolvida na elaboração do projeto da edificação, incorporando informações ambientais ao mesmo.

Palavras-chave:

Avaliação do ciclo de vida – Sistemas prediais de água quente – desempenho ambiental – Aquecimento Solar – Sistemas prediais de Gás Natural

## **ABSTRACT**

Silva, Arthur Bastos. Comparative Study of Consumption and Life-Cycle Impacts of Water Heating Systems: LCA Applied to Solar Heating Water Systems and Gas Heating Systems in residential buildings in the city of Rio de Janeiro.

Buildings are major responsible for the energetic consumption and potential greenhouse gas emissions during their life cycle. Building water heating systems are facilities that contribute for the building's energetic consumption, mainly in residential units, throughout its operational phase. The variability of possibilities available of energy source, reservation and distribution systems of hot water and types of construction materials used in these building systems allow, in design phase, to make a lot of different system arrangement, depending on the decision making process. Often, the definition of the facility typology for a building is made by a technical economic decision, involving stakeholders interested in the project elaboration process. However, the system possibilities spectrum should consider the resources consumption and environmental impact generation throughout the life-cycle of these facilities and of buildings as a whole, still hazy factors regarding the decision to use one or another system typology. This study will present a specific method to application of environmental management tool, Life-Cycle Analysis (LCA) in such hot water systems in early design building phase through comparative study of solar heating water systems and natural gas heating water systems for a residential multifamily building to be constructed in Rio de Janeiro, Brazil. The method applies in the pre-operational phase, in order to enable to obtain relevant information about environmental performance of buildings hot water systems and heating water systems, in order to assist the decision making process of the technical team involved in the elaboration of the building projects, incorporating environmental information to it.

Key-words:

Life-Cycle Assessment – hot water building systems – environmental performance – solar heating water system – gas heating water system

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Artigos relacionados à ACV em edificações: Publicações nos quinquênio 2011-2015. Adaptado de ANAND e AMOR, 2017 .....	25
Figura 2 - Exemplo geral de sistema de produto Adaptado de Chehebe, 1998. ....	43
Figura 3 - Fluxograma de 4 fases de aplicação da metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida .....	52
Figura 4 - Dados de entradas e saídas passíveis de inventariado .....	58
Figura 5 - Etapas do Inventário do Ciclo de Vida segundo NBR ISO 14044 ....	59
Figura 6 - Etapas da fase de Interpretação do Ciclo de Vida .....	70
Figura 7: Matriz de consumo de energia elétrica por usuário final no Brasil. Adaptado de EPE, 2017 .....	72
Figura 8: Evolução do consumo final de energia no setor residencial por fonte no Rio de Janeiro (10 <sup>3</sup> tep).....	76
Figura 9: Evolução das Malhas de Transporte e Distribuição de Gás Natural no Brasil .....	78
Figura 10: Previsão de produção bruta de gás natural nacional decênio 2017-2027 .....	79
Figura 11: Evolução do Consumo de GLP a granel, P20 e P45 no Brasil: 2007-2017 .....	82
Figura 12: Evolução da produção de coletores solares.....	83
Figura 13: Recorte do Mapa Solar da cidade do Rio de Janeiro no solstício de verão - Centro e Região Portuária.....	84
Figura 14: Diagrama de possibilidades de fonte de aquecimento a gás e solar segundo a configuração do sistema.....	88
Figura 15: Esquema simplificado dos sistemas de produção de água aquecida para banho. Adaptado de KULAY; VIÑAS; HESPANHOL, 2015.....	90
Figura 16: Arranjos e dispositivos componentes para Sistemas de Aquecimento Solar por termo sifão e circulação forçada .....	104
<i>Figura 17: Fluxograma geral de aplicação do método .....</i>	<i>111</i>
Figura 18: Fluxograma detalhado de etapas do método: Fases I a IV .....	113
Figura 19: Fluxograma detalhado de etapas do método - Fases IV a VI .....	122
Figura 20: Fluxograma detalhado de etapas do método - Fases VII e VIII ....	127

Figura 21: Visão geral da estrutura do método ReCiPe .....	129
Figura 22: Vista do Quilombo da Gamboa - Rio de Janeiro, RJ Adaptado do projeto arquitetônico desenvolvido pelo escritório Chiq da Silva LTDA.....	131
Figura 23: Planta baixa esquemática projeto arquitetônico Quilombo da Gamboa Adaptado do projeto de arquitetura desenvolvido pelo escritório Chiq da Silva LTDA. ....	132
Figura 24: Sistema de produto/processo de fornecimento de água quente para banho. Adaptado de KULAY; VIÑAS e HESPANHOL, 2015.....	139
Figura 25: Sistema de Produto SPAQ com aquecimento a Gás Natural.....	141
Figura 26: Sistema de Produto SPAQ com aquecimento Termo Solar e redundância Elétrica.....	142
Figura 27: Arranjo esquemático da instalação de SPAQ com aquecimento via Gás Natural para o empreendimento .....	150
Figura 28: Médias de temperaturas mensais mínimas e máximas para a cidade do Rio de Janeiro/RJ, série histórica de 30 anos .....	161
Figura 29: Sistema de produto tubulação e conexões PVC e CPVC. Adaptado de SOLORIO, 2018 .....	176
Figura 30: Sistema de produto para a tubulação de cobre.....	178
Figura 31: Funcionamento esquemático aquecedor de passagem .....	180
Figura 32: Representação esquemática de componentes do coletor solar com cobertura. Reprodução de COMGÁS; ABRINSTAL, 2011 .....	189
Figura 33: Comparação oferta e demanda energética para SAS.....	200
Figura 34: Resultados normalizados para as categorias de impacto ReCiPe midpoint (H).....	206
Figura 35: Fatores contribuintes para o consumo de água do SPAQ com aquecimento Termo Solar e complemento elétrico .....	207
Figura 36: Diagrama de Sankey parcial para SPAQ com aquecimento via Termo Solar e complemento elétrico .....	209
Figura 37: Diagrama de Sankey parcial para SPAQ com aquecimento via GN .....	210
Figura 38: Resultados normalizados para as categorias de impacto ReCiPe midpoint (H) para SPAQ via GN e Termo Solar com eletricidade .....	213
Figura 39: Resultados normalizados para as categorias de impacto ReCiPe midpoint (H) para SPAQ via Termo Solar com e sem complemento elétrico .	215

Figura 40: Resultados normalizados para as categorias de impacto ReCiPe midpoint (H) para SPAQ via GN e Termo Solar sem Eletricidade..... 216

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Exemplos de funções e respectivas unidades funcionais para concreto estrutural e não estrutural em edificações.....	46
Quadro 2: Descrição de ACV comparativa entre concretos de composições distintas.....	49
Quadro 3: Critérios de corte de dados considerados em estudo de ACV, conforme ABNT NBR ISO 14044.....	54
Quadro 4: Requisitos de qualidade de dados.....	55
Quadro 5: Processos envolvidos na fase de Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida.....	61
Quadro 6: Caracterização das categorias de impacto comumente demonstradas em estudos.....	62
Quadro 7: Caracterização dos principais métodos de Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida utilizados no mundo.....	66
Quadro 8: Tipos de recipientes de GLP comercializados no Brasil.....	80
Quadro 9: Relação de normas inerentes aos projetos e instalações de SPAQ's com Instalações de Gás e Instalações de Aquecimento Solar.....	92
Quadro 10: Descrição do layout e componentes do sistema de aquecimento a gás.....	95
Quadro 11: Comparação de características técnicas dos materiais de composição de tubulações de água quente.....	101
Quadro 12: Tipologias e arranjos para Instalações Prediais de Água Quente (IPAQ) com Sistema de Aquecimento Solar (SAS).....	105
Quadro 13: Descrição dos componentes do sistema de aquecimento a gás.	106
Quadro 14: Principais funções dos sistemas prediais de água fria, água quente e gás encanado.....	116
Quadro 15: Descrição das unidades habitacionais componentes do empreendimento.....	133
Quadro 16: Descrição dos fluxos de referência considerados na aplicação da ACV.....	143
Quadro 17: Especificações técnicas modelo comercial de Aquecedor de Passagem.....	149
Quadro 18: Atributos de projeto SPAQ com SAS.....	158

Quadro 19: Especificações de reservação do SAS por bloco de edificação ..	162
Quadro 20: Relação de materiais instalação SPAQ com aquecimento via GN extraída do projeto da instalação .....	173
Quadro 21: Resumo materiais empregados no SPAQ com Aquecimento a Gás, consumo de matérias-primas e processos de fabricação .....	185
Quadro 22: Relação de materiais instalação SPAQ com aquecimento via GN extraída do projeto da instalação .....	188
Quadro 23: Resumo materiais empregados no SPAQ com Aquecimento via Termo Solar, consumo de matérias-primas e processos de fabricação .....	193
Quadro 24: Fluxos de Referência para a unidade funcional do SPAQ com aquecimento via gás natural.....	201
Quadro 25: Categorias de impacto ReCiPe midpoint e respectivas unidades de medida .....	204

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Proporção de domicílios particulares permanentes com água encanada, por fonte de aquecimento, segundo a situação do domicílio e as Grandes Regiões. ....	74
Tabela 2: Dimensionamento da potência computada de GN por trecho .....	151
Tabela 3: Dimensionamento de Tubulações para Edificações com Ramificações Primárias e Secundárias .....	152
Tabela 4: Dimensionamento dos trechos de tubulação de distribuição de GN .....	154
Tabela 5: Especificações de demanda do chuveiro para banho .....	159
Tabela 6: Consumo de água por bloco de edificação .....	159
Tabela 7: Demanda de energia total gerada para o SAS por bloco de edificação .....	163
Tabela 8: Irradiação solar média mensal para a cidade do Rio de Janeiro ....	164
Tabela 9: Especificações Coletor Solar comercial utilizado no projeto .....	165
Tabela 10: Dimensionamento da Área coletora e número de coletores do SAS por bloco de Edificação .....	167
Tabela 11: Velocidades e vazões máximas por diâmetro nominal de tubulação .....	168
Tabela 12: Dimensionamento da tubulação de circulação pelo critério da vazão de capacidade do diâmetro nominal.....	169
Tabela 13: Dimensionamento dos ramais de distribuição de água quente em CPVC .....	170
Tabela 14: Especificações reservatório térmico comercial definido para projeto .....	171
Tabela 15: Geração de energia termo solar média diária mensal em função da irradiação local .....	197

## LISTA DE EQUAÇÕES

(1).....	153
(2).....	153
(3).....	153
(4).....	153
(5).....	158
(6).....	160
(7).....	161
(8).....	162
(9).....	163
(10).....	164
(11).....	166
(12).....	166
(13).....	166
(14).....	167
(15).....	167
(16).....	167

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	v
AGRADECIMENTOS .....	vi
RESUMO.....	vii
ABSTRACT .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE QUADROS .....	xii
LISTA DE TABELAS .....	xiv
LISTA DE EQUAÇÕES .....	xv
SUMÁRIO.....	xvi
1. INTRODUÇÃO.....	20
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA.....	20
1.1.1. PANORAMA DA APLICAÇÃO DE ACV EM EDIFICAÇÕES E SISTEMAS PREDIAIS .....	25
1.2. OBJETIVO.....	30
1.3. JUSTIFICATIVA .....	31
1.4. METODOLOGIA.....	32
1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	33
2. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV) .....	36
2.1. CONCEITOS RELACIONADOS À ACV E EXEMPLIFICAÇÃO .....	41
2.2. DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA DIFUNDIDA .....	50
2.2.1. FASE 1 - DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO.....	52
2.2.2. FASE 2 - ANÁLISE DE INVENTÁRIO (ICV) .....	56
2.2.3. FASE 3 - AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DO CICLO DE VIDA (AICV)..	60
2.2.4. FASE 4 - INTERPRETAÇÃO .....	69

2.3. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA COM A UTILIZAÇÃO DE SOFTWARES: OPENLCA.....	71
3. SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA PARA USO RESIDENCIAL..	72
3.1. PANORAMA NACIONAL.....	72
3.2. DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E EXECUTIVAS DOS SISTEMAS PREDIAIS DE ÁGUA QUENTE.....	86
3.2.1. NORMALIZAÇÃO.....	90
3.2.2. SISTEMAS PREDIAIS DE ÁGUA QUENTE COM AQUECIMENTO VIA GÁS (NATURAL OU LIQUEFEITO DE PETRÓLEO).....	94
3.2.3. SISTEMAS PREDIAIS DE ÁGUA QUENTE COM AQUECIMENTO VIA TERMO SOLAR E COMPLEMENTAÇÃO POR OUTRA FONTE ENERGÉTICA	
102	
4. MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE SISTEMAS HIDRÁULICOS DE EDIFICAÇÕES COM BASE NA NBR ISO 14040 E 14044.....	110
5. APLICAÇÃO DO MÉTODO DESENVOLVIDO DE ACV PARA SISTEMAS HIDRÁULICOS EM SISTEMAS PREDIAIS DE ÁGUA QUENTE.....	131
5.1. FASE I: DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO (A) – DEFINIÇÕES GERAIS, FUNÇÃO E UNIDADE FUNCIONAL.....	133
5.2. FASE II: INTERPRETAÇÃO (A) - STAKEHOLDERS.....	137
5.3. FASE III: AVALIAÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO (B) – SISTEMA DE PRODUTO, ENTRADAS E SAÍDAS .....	138
5.4. FASE IV: INTERPRETAÇÃO B – VALIDAÇÕES DE OBJETIVO E ESCOPO.....	146
5.5. FASE V: ELABORAÇÃO DE PROJETOS DOS SISTEMAS EM CARÁTER PRELIMINAR .....	148
5.5.1. MEMORIAL DE CÁLCULO PARA SPAQ COM AQUECIMENTO VIA GÁS NATURAL.....	148
5.5.1.1. DESCRIÇÃO E PARÂMETROS DO PROJETO.....	148
5.5.1.2. DIMENSIONAMENTO DA POTÊNCIA COMPUTADA .....	149

1.868.....	151
5.5.1.3. DIMENSIONAMENTO PRÉVIO DOS TRECHOS PELO MODELO RIP/CEG RIO DE JANEIRO.....	151
5.5.1.4. DIMENSIONAMENTO DOS RAMAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA QUENTE	156
5.5.2. MEMORIAL DE CÁLCULO DO SPAQ COM AQUECIMENTO VIA TERMO SOLAR E COMPLEMENTO ELÉTRICO.....	157
5.5.2.1. DESCRIÇÃO E PARÂMETROS DE PROJETO.....	157
5.5.2.2. PREMISSAS GERAIS.....	158
5.5.2.3. DIMENSIONAMENTO DA DEMANDA DIÁRIA.....	158
5.5.2.4. DIMENSIONAMENTO DO VOLUME DE ARMAZENAMENTO.....	160
5.5.2.5. CÁLCULO DA DEMANDA DE ENERGIA ÚTIL E PERDAS.....	162
5.5.2.6. DIMENSIONAMENTO DA ÁREA COLETORA.....	163
5.5.2.7. IRRADIAÇÃO GLOBAL MÉDIA ANUAL LOCAL.....	164
5.5.2.8. PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA DE ENERGIA.....	164
5.5.2.9. FATOR DE CORREÇÃO PARA INCLINAÇÃO E ORIENTAÇÃO DO COLETOR SOLAR.....	166
5.5.2.10. DIMENSIONAMENTO DA TUBULAÇÃO DE CIRCULAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.....	168
5.5.2.11. ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA DOS RESERVATÓRIOS DE ACUMULAÇÃO.....	171
5.6. FASE VI: ANÁLISE DE INVENTÁRIO.....	171
5.6.1. INVENTÁRIO DO SPAQ COM AQUECIMENTO VIA GÁS NATURAL 172	
5.6.2. INVENTÁRIO DO SPAQ COM AQUECIMENTO VIA TERMO SOLAR E COMPLEMENTAÇÃO ELÉTRICA.....	187
5.7. FASE VII: INTERPRETAÇÃO (C) – CORRELAÇÃO DE DADOS E FLUXOS ELEMENTARES.....	201
5.8. FASE VIII: AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DO CICLO DE VIDA (AICV).	203

5.9. FASE IX: INTERPRETAÇÃO (D) – ANÁLISE DE RESULTADOS E APLICABILIDADE .....	204
5.9.1. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE .....	212
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS .....	217
1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	220
ANEXOS .....	230

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

O crescimento populacional e o desenvolvimento tecnológico observados nas últimas décadas, tem transformado as atividades humanas em grandes responsáveis por mudanças estruturais no panorama ambiental a níveis regionais e globais.

A partir do entendimento que os ciclos de atividades do homem não são destacados do meio, na medida em que todos vivemos sob um mesmo grande ecossistema composto de outros sistemas, é compreensível que sejam determinados impactos destas atividades na vizinhança, tanto com relação a consumo de recursos antes e durante os processos, quanto de emissão de resíduos após a conclusão dos mesmos.

Sob tal ótica, impacto ambiental pode ser definido, conforme resolução CONAMA nº001, artigo 1º, como:

“qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- I – a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II – as atividades sociais e econômicas;
- III – a biota;
- IV – as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V – a qualidade dos recursos ambientais”

(IBAMA, 1986)

Neste contexto, o desenvolvimento sustentável torna-se conceito importante. Sob este aspecto, a Organização das Nações Unidas (ONU) trouxe, em um relatório publicado em 1987, o conceito para domínio público, traduzindo-o como “atender as necessidades do presente sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades”.(Relatório da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento: Nosso Futuro Comum - ONU, 1987)

Em se tratando do aspecto de consumo de recursos e geração de impactos das atividades humanas, o setor energético é responsável por vastos volumes de emissões dos chamados Gases de Efeito Estufa (GEEs), indo de encontro à manutenção do equilíbrio natural do planeta proposta pelo desenvolvimento sustentável, conforme demonstram dados do Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG) brasileiro:

“Em relação às emissões nacionais brutas de gases do efeito estufa, o setor de Energia participou com 8,0 bilhões de toneladas de carbono equivalente (t CO<sub>2</sub>). No período 1970-2014, as emissões passaram de 114,2 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente para 479,1 milhões de t CO<sub>2</sub>, um crescimento de 319%. Apenas entre 2010 e 2014 o crescimento foi de 30,2%.”

(SEEG, 2019)

Em consideração ao exposto, é inerente a necessidade de se criar um sistema de avaliação dos impactos das atividades de produção humana no meio que as circunda.

Com importância cada vez mais crescente dada à questão a partir de meados do século XX e da mudança de paradigma de pensamento diante dos efeitos globais de tais atividades durante os anos, tornou-se crucial o desenvolvimento de métodos que demonstrassem, buscando exatidão, os reais efeitos da cadeia produtiva ao planeta e à sociedade.

A construção civil, enquanto parte integrante da cadeia de atividades industriais de notoriedade no último século, constitui-se hoje também como um dos segmentos mais poluidores do planeta, seja por seu caráter heterogêneo e muitas vezes por processos rudimentares, seja pelo volume de recursos necessário para dar vazão à demanda por edificações para moradia e serviços da sociedade, seja pela demanda por infraestrutura das próprias atividades industriais e centros urbanos.

Segundo Fumo, Mago e Luck, 2010, edificações residenciais e comerciais contam com 41% do total do consumo energético nos Estados Unidos, o que justifica, no país, uma variedade de iniciativas para a redução de consumo de energia destes locais.

Dado o caso da demanda construtiva das edificações, muito se tem discutido sobre o consumo de recursos demonstrado na fase de uso destes

edifícios, os quais, com o tempo e o volume demandado, tendem a diminuir o desempenho dos seus sistemas.

Segundo o Programa Ambiental das Nações Unidas (*United Nations Environmental Programme – UNEP*), 2018, os edifícios usam cerca de 40% de toda a energia global, 25% da água, 40% dos recursos e emitem cerca de 1/3 das emissões Gases do Efeito Estufa.

A fase de uso é responsável por grande parte do consumo de energia, água potável e contribuição de resíduos de esgotamento sanitário, bem como vazão de águas pluviais e resíduos sólidos.

Por outro ângulo, os materiais componentes da edificação e seus sistemas também possuem influência direta no consumo energético e geração de impactos, tanto na fase pré-operacional (fabricação dos materiais, transporte e construção), quanto na fase de fim de vida útil e descarte.

Andrea e Di, 2010a, afirmam que apesar de ser racional atacar como prioridade o aumento da sustentabilidade ambiental dos elementos mais intensivos energeticamente, deve ser destacado que a fase de uso não é a única fonte de preocupação ambiental, mas todo o ciclo de vida. O montante de impactos ambientais se estende além da fase operacional, já que também abrangem a energia incorporada e carga ambiental relacionada à extração e manufatura, entre outros.

Desta forma, é interessante e necessário que sejam avaliadas alternativas de sistemas construtivos que possibilitem a diminuição de impactos de utilização das edificações, principalmente no que concerne à moradia em centros urbanos, diminuindo o impacto dos edifícios sobre seu entorno e tornando-os mais ambientalmente favoráveis, sem afetar o desempenho e conforto do usuário, bem como otimizem os impactos inerentes aos materiais de construção, sua produção, transporte e descarte final.

Os sistemas de abastecimento e distribuição hidráulica das edificações, por exemplo, são instalações que sofreram modificações tecnológicas ao longo do tempo e vêm se adequando a realidades de maior demanda geral, diminuindo o consumo unitário através de mecanismos de controle de utilização,

aproveitamento de águas servidas coletadas pelas coberturas e coleta de águas cinzas que, tratadas, podem ser reinseridas no sistema para utilizações não potáveis.

Neste âmbito, os sistemas de aquecimento de água e distribuição de água quente nos edifícios são distintos e diversificados. No Brasil, convencionalmente utiliza-se o aquecimento elétrico através de chuveiros em banheiros, os quais são historicamente os grandes vilões do consumo doméstico de energia elétrica, principalmente em famílias com perfil de consumo de baixa renda, as quais não têm acesso à sistemas de climatização, por exemplo.

Em detrimento da opção elétrica, outros sistemas de aquecimento são observados, tais como o aquecedor a gás e o sistema de aquecimento por coletores solares, os quais demandam instalação de tubulações exclusivamente destinadas à água aquecida, reservatórios de água quente independentes e, no caso do aquecimento solar, coletores posicionados em área disponível com acesso à insolação diária e constante.

Os sistemas em questão, se comparados qualitativamente, possuem vantagens e desvantagens de aplicação que dependem da demanda de água aquecida e passam por fatores como localização do empreendimento, valor e disponibilidade de redes públicas de energia elétrica e gás encanado, e, de fato, não se tem registro preciso de qual instalação é mais vantajosa para cada perfil de uso, principalmente nos caso dos centros urbanos brasileiros, levando em consideração as disparidades sócio econômicas e acesso desigual aos recursos e saneamento básico.

A melhoria da eficiência energética dos edifícios, fator intimamente ligado aos sistemas de aquecimento de água disponíveis e efetivamente aplicados no panorama de utilização nacional, enfrenta diversas barreiras de implementação, as quais estão relacionadas, conforme cita relatório de avaliação das políticas públicas para redução de GEEs em edificações (UNEP, 2009), com: impedimentos econômico-financeiros (relação entre custo de investimento de implantação e economia de energia, intrinsecamente ligado ao tempo de *payback*, ou retorno financeiro), custos e benefícios ocultos (custos que não são captados diretamente pelo valor de instalação e operação, tais como má

qualidade do fornecimento e obtenção de energia), falhas de mercado (falta de investimento em compra e distribuição de tecnologias alternativas, indisponibilidade de equipamentos eficientes no mercado), limitações comportamentais e organizacionais (cultura e falta de confiança em mudanças de paradigma), barreiras políticas e estruturais (inexistência ou ineficiência de legislação de incentivo), falta de informação por parte dos envolvidos no processo (consumidor, projetista, investidor).

Sob tal panorama, a aplicação de um método de gestão ambiental que possa se configurar útil na tomada de decisão do emprego de um ou outro sistema de aquecimento nas edificações, torna-se válido, principalmente na fase de projeto e *design* das edificações.

A Avaliação do Ciclo de Vida consiste em método de gestão capaz de determinar os impactos das fases da vida de determinado produto ou serviço, conforme define o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT):

“A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica desenvolvida para mensuração dos possíveis impactos ambientais causados como resultado da fabricação e utilização de determinado produto ou serviço. A abordagem sistêmica da ACV é conhecida como do “berço ao túmulo”, na qual são levantados os dados em todas as fases do ciclo de vida do produto. O ciclo de vida se refere a todas as etapas de produção e uso do produto, relativas à extração das matérias-primas, passando pela produção, distribuição até o consumo e disposição final, contemplando também reciclagem e reuso quando for o caso.” (IBICT, 2019)

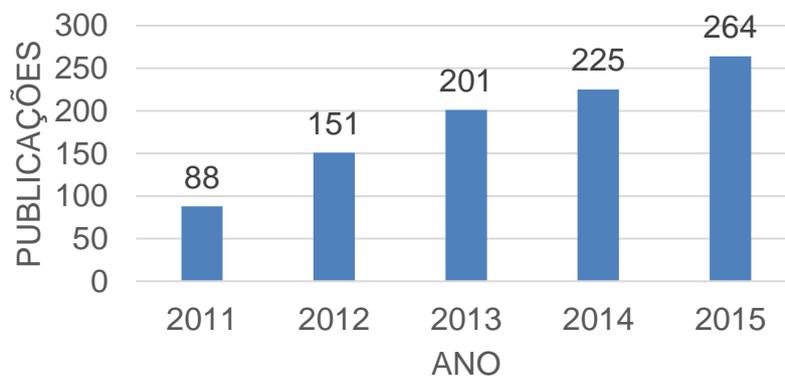
A Avaliação do Ciclo de Vida tem uma relevância expressiva no que diz respeito à obtenção de dados sobre impactos ambientais de produtos e processos, historicamente influenciando decisões sob o caráter do *design* dos produtos e suas embalagens e pode ser aplicável ao caso comparativo dos sistemas de aquecimento de água a fim de determinar ambientalmente qual sistema é mais vantajoso, sob o caráter de consumo de recursos e emissão de resíduos.

### 1.1.1. PANORAMA DA APLICAÇÃO DE ACV EM EDIFICAÇÕES E SISTEMAS PREDIAIS

Um levantamento de referências junto à literatura que trata do tema de aplicação de Avaliação do Ciclo de Vida em edificações identifica um vasto espectro de aplicações metodológicas sob panoramas diversos, ao que concerne aos objetivos e escopo dos estudos e aos resultados observados.

Zabalza Bribián, Aranda Usón e Scarpellini, 2009, descrevem que, como produtos, os edifícios são especiais uma vez que tem comparativamente a outros uma longa vida útil, sofrem mudanças ao longo da mesma, possuem diversas funções, contém muitos componentes diferentes e são normalmente únicos – um edifício por mais que seja reproduzido em locais distintos, possui características específicas inevitavelmente distintas. Tais fatores são mandatários no que diz respeito à variabilidade observada na ACV aplicada ao setor.

Além de vasta temática, a pesquisa relacionada à aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida a edificações tem aumentado ao longo dos anos. A figura a seguir demonstra o crescimento das publicações científicas relacionadas à ACV em edifícios no quinquênio 2011, 2015.



**Figura 1: Artigos relacionados à ACV em edificações: Publicações nos quinquênio 2011-2015. Adaptado de ANAND e AMOR, 2017**

No que concerne ao foco de aplicação, Anand e Amor, 2017, descrevem que, por muito tempo, a ACV predial se voltou para a eficiência energética e emissões associadas na fase de uso, também denominada fase operacional ou de gestão do edifício.

Tal fator se dá, conforme afirmam Zabalza Bribían, Aranda Uzón e Scarpellini, 2009 pelo fato de que, para satisfazer os requisitos de condicionamento de ar, aquecimento, água quente e eletricidade da edificação, a fase operacional envolve o maior consumo energético. Entretanto, esta não é a única etapa responsável pelo consumo energético, emissões atmosféricas e outros impactos relacionados.

Em seu estudo, os autores identificam, numa aplicação de método simplificado de ACV para edificações, que 31% de toda a energia requerida durante o ciclo de vida de um edifício é energia incorporada, montante ignorado, por exemplo, por selos de certificação ambiental. O estudo ainda demonstra que 41% do total de emissões de CO<sub>2</sub> durante a vida do edifício é relacionada às emissões provenientes dos materiais de construção componentes do mesmo.

A energia incorporada, segundo Ramesh, Prakash e Shukla, 2010, consiste de um dos três tipos de energia relacionadas a um edifício, a qual consiste na energia utilizada durante a fase de manufatura ou construção, relacionada a todos os materiais e instalações técnicas utilizadas para construção e remodelagem ou *retrofit* (relacionando energia de extração, beneficiamento, produção, transporte e construção).

Outros montantes energéticos associados ao edifício, ainda segundo os autores, estão relacionados à operação diária do mesmo, incluindo utilização e manutenção, e à sua demolição, ao final da vida útil.

Fouquet *et al.*, 2015, afirmam que emissões de CO<sub>2</sub> biogênico, proveniente da degradação da biomassa (no caso de construções, incorporado aos materiais componentes), geralmente não é considerado em análises de ciclo de vida. Em contraponto a isto, demonstram, em sua avaliação de três casas unifamiliares com diferentes materiais estruturais, significativa contribuição de materiais (impactos incorporados iniciais ligados à fase de produção e impactos incorporados adicionais ligados à fase de remodelação) nos impactos de aquecimento global do ciclo de vida de casas de baixo consumo energético de utilização, fator intimamente ligado à emissão de carbono biogênico nos processos.

Adalberth, 1997, em outra análise, compara três unidades residenciais unifamiliares pré-fabricadas na Suíça, com métodos construtivos e materiais estruturais distintos (estrutura de madeira, metálica e concreto pré-moldado).

Como resultados, o autor obteve que, para um dado tempo de vida, cerca de 85% do total do uso da energia é requerido durante a fase operacional da edificação, o que leva à conclusão de que para garantir economia de consumo deve-se produzir edificações que requeiram pequenos volumes energéticos durante a vida útil.

Há que se destacar, conforme Andrea e Di, 2010b, que os impactos do ciclo de vida são altamente interdependentes, de modo que uma fase pode influenciar outras. A exemplo, a seleção dos materiais de construção pode reduzir a necessidade de aquecimento dos ambientes, mas também pode aumentar a energia incorporada e impactos relacionados ao transporte ou alterar o tempo de vida útil do edifício como um todo.

A aplicação de ACV nas etapas iniciais do ciclo de vida do edifício se faz, desta forma, importante, na medida em que a informação do desempenho ambiental dos materiais de construção e dos sistemas construtivos e instalações prediais presentes no projeto é ferramenta decisória na utilização de certos materiais e métodos que culminem na redução de impactos do empreendimento não só na fase de construção ou pré-operacional, como também na fase operacional e fase final.

A respeito, Basbagill, Flager e Fischer, 2013, descrevem que, para a ACV ser uma ferramenta efetiva de tomada de decisão em estágios iniciais, projetistas devem ser os mais aptos a entender qual material e dimensionamento determinam um impacto ambiental da edificação e quais decisões são menos importantes. Esse conhecimento pode ser parte de um processo integrado BIM (*Building Information Model*)<sup>1</sup> de feedback, em que os desenhistas focam em decisões com largo impacto durante as fases iniciais de concepção e projeto.

---

<sup>1</sup> BIM (Building Information Model) – Modelo de Informação da Construção é um conceito de virtualização, modelagem e gerenciamento das atividades inerentes ao projeto/construção de obras de engenharia. O projeto, neste conceito, torna-se próximo da obra real, facilitando observação de possíveis inconformidades. (SAEPRO, [s.d.])

A respeito, Najjar *et al.*, 2017, descrevem, em seu estudo, que os modelos BIM têm a habilidade de produzir objetos inteligentes que são facilmente modificados e permitem o uso de diferentes materiais com vários parâmetros de design que permitem avaliar ainda na fase de projeto o desempenho ambiental do empreendimento, podendo ser usada como ferramenta promissora para a ACV em estágios primários do ciclo de vida de uma edificação.

Os resultados do estudo de caso realizado pelos autores apontam, contudo, que a aplicação da integração BIM-ACV no setor da construção possui dificuldades como bases de dados insuficientes que devem ser melhoradas, bem como aumento do detalhamento dos parâmetros dos modelos na plataforma BIM.

É inerente e importante salientar que, conforme Meex *et al.*, 2018 os resultados de uma ACV consistem num conjunto complexo de valores numéricos para os indicadores de impactos ambientais e um relatório com todas as suposições relacionadas elaborado durante a análise, o que torna a interpretação dos resultados por não-especialistas difícil, principalmente se não houver padrão comparativo, o que é notadamente fator determinante nos resultados da análise realizada para edificações e sistemas prediais, os quais ainda se relacionam com gatilhos externos tais como demandas de clientes, incentivos governamentais ou obrigações regulatórias agindo sobre o contexto de formação e instalação dos projetos dos empreendimentos prediais.

Outra limitação importante, inerente à aplicação do método em fase de projeto como ferramenta de tomada de decisão consiste na dificuldade, intensidade e destinação de recursos necessária à aplicação do mesmo, fatores que, muitas vezes, contradiz o cronograma apertado e recursos enxutos da fase pré-operacional.

Em se tratando de estudos de aplicação de ACV em edifícios na América do Sul, muito tem se desenvolvido nos últimos anos, em contraponto à falta de dados locais para inventário ou métodos que traduzam a realidade dos países da região.

Oyarzo e Peuportier, 2014, demonstram, em estudo realizado comparando edificações residenciais unifamiliares em quatro regiões distintas

do Chile, para um tempo de vida útil estimado em 30, 50, 80 e 100 anos, que a fase de uso corresponde, neste caso, à quase totalidade da demanda energética para as unidades habitacionais, evidenciando ainda, que as condições ambientais e técnicas construtivas diferenciadas para as quatro regiões influenciam diretamente na performance energética e ambiental dos objetos estudados.

Os autores destacam ainda as limitações de aplicação de Avaliação do Ciclo de Vida no local, relatando que não há, por exemplo, base de dados de inventário para a América do Sul, e, para os estudos locais, é usual a aplicação de ACV utilizando dados existentes em bases globais ao invés de aguardar o desenvolvimento de tais dados localmente, fator que, inevitavelmente, denota influência direta na qualidade e assertividade dos dados coletados.

Um estudo realizado por Evangelista *et al.*, 2018 para edificações residenciais de padrão, porte e tipologia variadas (multi e unifamiliares de alto e baixo padrão e unidades habitacionais de interesse social), no Brasil, denota que a fase operacional é a mais relevante devido à significância do consumo de energia elétrica e para cocção, contribuindo, no caso, em mais de 80% em muitas das categorias de impacto apresentadas. Contudo, é explicitado que tal contribuição tem variação significativa dependendo do padrão de consumo do usuário e da área construída e material de construção utilizado, uma vez que quanto maior a área, mais significativa é a fase pré-operacional para as categorias de impacto relacionadas às edificações.

Nota-se, dados os exemplos, que claramente existe grande variabilidade de resultados em aplicações prediais de ACV, dependendo principalmente do enfoque dado ao estudo e das características da tipologia da edificação utilizada como modelo, ou ainda das edificações objeto de comparação.

A dificuldade de aplicação de ACV em edificações, dado tal vasto espectro de variáveis relacionadas, torna necessário e interessante ao processo a definição de uma estrutura padronizada de análise, a fim de aumentar sua acurácia, conforme afirmam Ochsendorf *et al.*, 2011. Os autores descrevem que conceitos de boas-práticas devem reger qualquer ACV em edifícios, os quais estão ligados a utilizar uma perspectiva abrangente para prover adequado nível

de transparência aos dados e outros parâmetros relevantes, incluindo, por exemplo, nas fronteiras do sistema, todas as fases do ciclo de vida – materiais, construção, uso e operação, manutenção e fim da vida.

Os autores demonstram que a determinação das fronteiras do sistema de estudo modifica sensivelmente o montante de resultados observados e a percepção dos impactos gerados pelo edifício.

Sob tal contexto, os sistemas prediais de água quente devem também ser avaliados dentro de uma ótica a partir do início do seu ciclo de vida, incluindo extração primária dos materiais componentes, beneficiamento e produção e transporte até o local de execução da instalação projetada, para que a energia incorporada aos mesmos e suas emissões biogênicas sejam consideradas e deem maior dimensão dos impactos dos sistemas.

## **1.2. OBJETIVO**

Esta pesquisa pretende aplicar método derivado da metodologia geral de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para comparar o desempenho ambiental de dois distintos Sistemas Prediais de Água Quente (SPAQ) para um empreendimento residencial multifamiliar situada num grande centro urbano brasileiro: um Sistema Predial de Água Quente com aquecimento via Gás Natural encanado, e outro com a instalação de um Sistema de Aquecimento Solar (SAS) via aquecedores térmicos localizado nas coberturas da edificação, com complementação de alimentação elétrica, de forma que se obtenham informações precisas sobre o desempenho ambiental dos sistemas e haja melhoria na assertividade da tomada de decisão sobre qual sistema utilizar por parte do projetista, somando-se às informações de aspecto técnico e econômico inerentes aos interessados pelo projeto.

### 1.3. JUSTIFICATIVA

O ciclo de vida dos edifícios como um todo, considerando a fase pré-operacional (fabricação dos materiais de construção, transporte, construção propriamente dita), operacional (considerando uso, manutenção e eventuais melhorias de reformas e *retrofit*) e pós-operacional (descarte e reciclagem), é um dos grandes responsáveis pelo consumo de recursos e geração de impactos ambientais, dentre as atividades humanas, contribuindo diretamente e por grande parcela dos problemas ambientais existentes e seu agravamento futuro.

Conforme o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), a construção e a manutenção da infraestrutura do país consomem até 75% dos recursos naturais extraídos, sendo a cadeia produtiva do setor a maior consumidora destes recursos. (CBCS, 2007)

Ainda segundo o Conselho, a quantidade de resíduos sólidos de construção e demolição é estimada em cerca de 80 milhões de toneladas por ano, e a fase de operação dos edifícios é responsável pelo consumo de 18% do total de energia do país, 50% do total de energia elétrica, e 21% do total de água consumida por ano.

Em consideração ao exposto, é inerente a necessidade de busca de elementos mitigadores para o consumo de recursos materiais e imateriais (tais como energia) e geração de impactos da indústria da construção em todas as suas fases, a fim de que se possa melhorar o desempenho ambiental das edificações e seus sistemas.

Para melhorar o desempenho das edificações, diversas ações podem ser tomadas, tais como melhoria do consumo na fase de utilização através da substituição de sistemas e aparelhos consumidores por outros mais econômicos, entre outras ações.

Entre os sistemas diretamente relacionados ao consumo energético e geração de impactos diretos, principalmente em edificações habitacionais, estão as instalações prediais de água quente, as quais possuem uma variabilidade de *layouts* de aplicação dependendo da natureza e porte da edificação e da disponibilidade de fontes energéticas locais, bem como do padrão do usuário e

sua cultura. Sob este panorama, existem sistemas de água quente com aquecimento por eletricidade direta, gás encanado (Gás Liquefeito de Petróleo em tanques instalados em central no local ou Gás Natural de concessionária), aquecimento via direta termo solar ou híbrido, que combina mais de uma fonte de energia visando melhor desempenho. A decisão sobre qual sistema e *layout* utilizar é galgada, principalmente, em informações econômicas e técnicas, não considerando, a priori, o desempenho ambiental das instalações e seus impactos.

Além do exposto, uma mudança estrutural que garanta melhor desempenho ambiental em todas as fases do ciclo de vida da edificação, incluindo a energia incorporada, deve ser feita avaliação do melhor sistema construtivo a ser utilizado ainda na fase de concepção de projeto.

Desta forma, se torna necessário que, para melhor decisão por parte do profissional envolvido na fase de concepção do empreendimento, informações acerca do desempenho ambiental dos sistemas de água quente estejam disponíveis ainda em projeto, fator que pode ser alcançado pela aplicação de método de Avaliação do Ciclo de Vida para SPAQ's de diferentes naturezas, a fim de que se possa tomar uma decisão galgada em critérios de desenvolvimento sustentável.

#### **1.4. METODOLOGIA**

A metodologia adotada para este estudo está relacionada à Avaliação do Ciclo de Vida de Sistemas Prediais de Água Quente para edificações residenciais multifamiliares no que concerne à comparação de diferentes tipologias de sistemas com relação ao seu desempenho ambiental, antes de efetivamente instalados.

Para tanto, o trabalho se divide em três partes principais. Na primeira seção de texto são levantadas e descritas informações bibliográficas acerca dos conceitos de Avaliação do Ciclo de Vida e os Sistemas Prediais de Água Quente, com enfoque, nos sistemas de aquecimento solar e aquecimento via gás, objetos

utilizados na exemplificação de aplicação comparativa da ACV para as instalações de água quente.

Em segundo momento, desenvolve-se e descreve-se através de fluxogramas, o método de ACV diretamente aplicado aos sistemas, com etapas particulares inerentes à aplicação e necessárias à geração de resultados assertivos ao final do processo.

Por fim, realiza-se a aplicação do método em projeto de empreendimento habitacional multifamiliar na cidade do Rio de Janeiro, utilizado como exemplo, demonstrando, durante o processo, as dificuldades e melhorias necessárias e, ao final da aplicação discorrendo sobre as conclusões acerca do desempenho ambiental dos dois projetos de sistemas prediais de água quente utilizados como modelo, como os resultados devem ser apresentados às partes interessadas e parâmetros para aplicação do método desenvolvido em outros casos de estudo.

## **1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

O texto aqui apresentado foi organizado em 6 capítulos distintos, além das referências bibliográficas e um Anexo.

O primeiro capítulo, introdutório, contextualiza a pesquisa, dando o panorama do papel das edificações e construção civil na geração de impactos ambientais e como a Avaliação do Ciclo de Vida pode colaborar para tornar os edifícios, e mais especificamente, os sistemas de aquecimento de água, mais sustentáveis, ainda antes de construídos. Além do exposto, faz-se descrição da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida em edificações e sua importância, enfatizando utilização em sistemas prediais. O capítulo descreve também a justificativa e objetivo do trabalho, bem como o método aplicado.

O segundo capítulo do texto busca definir os principais conceitos relacionados à Avaliação do Ciclo de Vida, sua metodologia preconizada pelas normas ISO da família 14040 (representadas no Brasil pela ABNT NBR ISO 14040 e ABNT NBR ISO 14044), histórico de surgimento e aplicação,

importância sob o âmbito da gestão ambiental, faz comparações conceituais e exemplifica a utilização da metodologia.

O capítulo 3 divide-se em dois tópicos principais: o primeiro traça um panorama do perfil de consumo energético brasileiro, principalmente no que diz respeito ao consumo para aquecimento de água doméstico, demonstrando histórico e tendências de oferta da matriz energética e perfil de consumo dos usuários.

O segundo tópico descreve na prática dois sistemas alternativos de aquecimento de água para edificações residenciais multifamiliares: aquecimento a gás e aquecimento por via solar. Para cada caso, o capítulo faz uma descrição de *layout* e componentes de instalação, variabilidades possíveis, descreve a normalização relacionada e traça parâmetros comparativos.

O capítulo 4 descreve o método desenvolvido para a aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida em Sistemas Prediais Hidráulicos, no que tange ao momento em que estas estão sendo concebidas (fase de projeto), para a análise e tomada de decisão de quais são mais vantajosas no que diz respeito ao perfil ambiental.

O capítulo 5 descreve um exemplo de aplicação realizado no projeto desenvolvido para um conjunto de edificações residenciais de interesse social multifamiliares situado na região portuária do Rio de Janeiro. Para tanto, é apresentado o empreendimento, que conta com os projetos arquitetônico e de instalações de aquecimento de água estudados, seu perfil de uso, dados a respeito das unidades, população usuária, e outras questões que influenciam o estudo. O capítulo também descreve detalhadamente a aplicação do método desenvolvido até a avaliação dos impactos do ciclo de vida, descrevendo o que foi realizado em cada fase, definição de objetivos e escopo, unidade funcional, inventário e coleta de dados de relação e ciclo de vida dos materiais componentes do sistema e outros aspectos.

O capítulo 6 descreve as conclusões do autor a respeito do estudo realizado, fazendo uma análise crítica dos dados de resultado e traçando limitações e acertos do método, apontando ainda o comparativo entre os sistemas de

instalações desenvolvidos, destacando dificuldades e incertezas e faz orientações para outros trabalhos semelhantes.

Por fim, o texto lista o referencial bibliográfico utilizado na pesquisa e os Anexos demonstram cópias gráficas das Plantas Baixas de Arquitetura para o conjunto habitacional estudado, projetos preliminares de SPAQ com Aquecimento via Gás Natural e SPAQ com Aquecimento via Termo Solar e redundância elétrica e seus respectivos memoriais de cálculo.

## 2. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

O pensamento do ciclo de vida é determinado como uma maneira de abordar questões ambientais e oportunidades de um sistema ou perspectiva holística. Neste tipo de pensamento, conforme texto de conferência do UNEP (*United Nations Environmental Programme*), 2003, um produto ou serviço é avaliado ou desenhado com um objetivo de reduzir os potenciais impactos ambientais durante todo o seu ciclo de vida.

Neste panorama, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV, do inglês *LCA – Life Cycle Assessment*) é descrita por Kloppfer, 2014, como uma análise e avaliação cientificamente baseada dos impactos ambientais de sistemas de produtos.

O método está relacionado à gestão ambiental dos processos e produtos, associada ao pensamento do ciclo de vida. Conforme a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, (*US EPA - United States Environmental Protection Agency*), um Sistema de Gestão Ambiental é um conjunto de processos e práticas que permitem a uma organização reduzir seus impactos e melhorar sua eficiência operacional.

Os sistemas de gestão ambiental aplicados às práticas humanas ou organizações são necessariamente dotados de técnicas de avaliação para se firmarem, na medida em que é necessário que se majore quantitativa e qualitativamente o desempenho ambiental dos processos e atividades e seus produtos, a fim de que se faça um diagnóstico do panorama e efetivamente se proponha melhorias que levem a uma elevação desse desempenho.

A aplicação da gestão ambiental nas atividades de uma organização ou setor da indústria se galga, inicialmente, na observação de que nenhum sistema é fechado e todos são passíveis de interações com o meio que os circunda, em maior ou menor escala.

Deste modo, o meio tem relação ativa com os processos e elementos internos a um sistema ou organização. Conforme a NBR ISO 14040, “os elementos das atividades, produtos e serviços de uma organização que podem interagir com o meio ambiente são chamados aspectos ambientais. Exemplos

incluem lançamentos, emissões, consumo ou reuso de materiais, ou geração de ruído”. (ABNT, 2009b)

Os ditos aspectos ambientais relacionados a cada atividade, por sua vez, produzem efeitos na sua vizinhança. Ainda conforme a referida norma, “alterações no meio ambiente, tanto adversas quanto benéficas, que resultem total ou parcialmente de aspectos ambientais, são chamadas impactos ambientais. Exemplos de impactos adversos incluem poluição do ar e a redução de recursos naturais”.

Neste ponto, nota-se que a definição de impacto relacionada à gestão ambiental corrobora com a definição ampla apresentada inicialmente (demonstrada no capítulo introdutório), setorizando, contudo, a relação do processo ou atividade analisada a causas bem definidas, determinadas pelos aspectos ambientais, e não mais demonstrando um perfil generalista relacionado a qualquer atividade humana que cause modificação do meio, fator que guia a metodologia a uma quantificação mais bem definida.

O desempenho ambiental está, então, intimamente ligado à quantidade e importância dos aspectos ambientais associados a um produto ou processo e seus impactos benéficos ou adversos ao meio, fator que deve ser levantado e avaliado pelo sistema de gestão ambiental. Tal avaliação pode ter enfoque mais ou menos criterioso, devendo sempre buscar uma relação de equilíbrio entre os custos de implementação e manutenção, resultados obtidos e melhorias advindas do processo de avaliação.

A gestão ambiental, orientada por seus sistemas aplicáveis, pode ter seu foco, desta forma, sobre o processo propriamente dito, o produto originário deste processo ou a função deste produto.

O foco sobre o processo, uma abordagem mais tradicional da gestão ambiental, é galgado na busca de bom desempenho apenas sobre o processo de produção e manufatura, restringindo sua análise a este. Configura-se, assim, como uma abordagem mais superficial de gestão, uma vez que ignora aspectos e impactos da fase de uso, por exemplo.

A gestão com ênfase no produto se baseia não só no desempenho do processo de produção, como também do produto originário deste, enquanto em uso.

Por outra abordagem, a avaliação do desempenho ambiental deve se dar também na função que o produto exerce, ou seja, que o produto seja de fato utilizado em sua capacidade ideal no fim a que foi produzido, tornando-se, dentre as apresentadas, a caracterização mais criteriosa no sentido de englobar mais fatores relacionados ao ciclo de vida do produto do que as demais. Neste âmbito, a abordagem com foco na função do produto engloba todo o ciclo de vida do mesmo.

Por ciclo de vida, a NBR ISO 14040, define: “estágios sucessivos e encadeados de um sistema de produto, desde a aquisição da matéria-prima ou geração de recursos naturais à disposição final”. (ABNT, 2009b).

Em outras palavras, o foco na função do produto avalia os aspectos e impactos ambientais da vida do mesmo “do berço ao túmulo”, passando por todos os processos existentes relacionados à sua produção, tais como extração de matéria-prima, beneficiamento, a manufatura propriamente dita com todos os seus sub processos, bem como à sua utilização e descarte final após obsolescência.

O dito sistema de produto consiste justamente no conjunto dos processos relacionados àquele produto ou função, que se interligam numa cadeia lógica de inter-relação física e/ou energética, durante o ciclo de vida, conforme define a NBR ISO 14040: “conjunto de unidades de processo, conectadas material e energeticamente, que realiza uma ou mais funções definidas”. (ABNT, 2009b)

O conceito de sistema de produto será retomado e melhor detalhado em tópico posterior, a fim de fornecer definições precisas sobre os elementos relacionados ao método.

Neste âmbito, torna-se inerente a necessidade de elaboração de um método que tenha seu enfoque na gestão sob a luz do foco na função do produto, que seja capaz de verificar os aspectos e impactos ambientais em todos os processos definidos dentro da janela do ciclo de vida do item avaliado.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV – do inglês LCA – Life-cycle Assessment) consiste de uma técnica de gestão ambiental que supre a função de verificação do desempenho do produto ou serviço do berço ao túmulo, ou seja, levando em consideração todas as etapas do ciclo de vida:

“Avaliação do Ciclo de Vida é uma ferramenta para analisar sistematicamente a performance ambiental de produtos ou processos sobre o ciclo de vida inteiro, incluindo extração de matérias-primas, manufatura, uso e deposição ao fim da vida, bem como reciclagem. Consequentemente, a ACV é frequentemente considerada uma abordagem “do berço ao túmulo” para a avaliação de impactos ambientais”. (CABEZA et al., 2014)

O Instituto Brasileiro de Ciência e Tecnologia (IBICT) define, em seu manual, “A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é um método estruturado, abrangente e internacionalmente padronizado. Ele quantifica todas as emissões e recursos consumidos e seus impactos sobre o meio ambiente e a saúde e considera questões relacionadas ao esgotamento de recursos associadas a quaisquer bens ou serviços (“produtos”).” (IBICT, 2014)

Em uma visão prática, a Avaliação do Ciclo de Vida é uma “avaliação utilizada para quantificar a carga ambiental de um produto desde a retirada da natureza das matérias-primas elementares que entram no sistema produtivo (berço) à disposição final (túmulo)”. (SILVA *et al.*, 2014)

Por carga ambiental, entende-se a influência do ciclo de vida do produto no meio em que está inserido, quantificando e mensurando em termos de importância os aspectos ambientais relacionados ao produto e seus respectivos impactos associados, de modo a se traçar um panorama situacional da inserção do ciclo de vida de determinado produto ou processo no meio e a importância do gerenciamento do desempenho ambiental do mesmo.

Em um contexto de consumo energético e geração de impactos de um sistema, a “avaliação do ciclo de vida é uma ferramenta de gestão criada para computar entradas e saídas de um sistema de produção, com o objetivo de avaliar o desempenho ambiental dos produtos durante as diversas etapas de seu ciclo de vida”. (COELHO FILHO; SACCARO JUNIOR; LUEDEMANN, 2016)

Considerando o perfil holístico da ferramenta em consideração a ser capaz de analisar o sistema do berço ao túmulo, Coelho Filho, Saccaro Junior e

Luedemann, 2016, definem ainda: “Também conhecida como *cradle-to-grave analysis* (análise do berço à sepultura), pode ser efetuada conforme recorte analisado: *gate to gate*, *gate to grave*, *grave to cradle* (de porta a porta, de porta ao túmulo ou do túmulo ao berço)”.

Em outras palavras, ainda que a avaliação do ciclo de vida seja capaz de analisar o sistema como um todo, pode ser utilizada para verificação de recortes ou partes integrantes do mesmo, compostas por processos parciais, ou ainda analisar o sistema num modo de reciclagem do produto ao fim da vida. A escolha de um ou outro panorama está intrinsecamente ligada aos objetivos do estudo em questão, abrangência e limitações.

Em suma, considerando a caracterização apresentada, pode-se descrever a avaliação do ciclo de vida como um método de gestão ambiental sistêmico, padronizado e estruturado de forma a avaliar os aspectos e impactos ambientais de um produto ou processo com ciclo de vida bem definido, e que permite variabilidade de aplicação dependendo do escopo do estudo e dos resultados esperados, bem como análises comparativas entre produtos e processos semelhantes e que exerçam a mesma função, de forma a ser elemento crucial em tomadas de decisão estratégicas no que concerne a design de produtos e métodos de execução, tornando-se ferramenta amplamente aplicável às organizações humanas como determinante na obtenção de dados de desempenho ambiental das mesmas.

A aplicação da ACV como método intrinsecamente relacionado à manutenção do desempenho dos produtos e serviços, principalmente no que concerne à sustentabilidade, permite que se pratique a melhoria contínua, na medida em que a percepção da contribuição de um ou outro processo para os impactos, mensuração de tais impactos e sua correlação com dados de análise comparativa podem, por exemplo, ser fatores decisivos na modificação da produção, modificação do perfil de uso de determinado produto e até em seu meio de descarte ao fim da vida.

A existência de uma gama de materiais e técnicas construtivas para obtenção da mesma função final, sem que se tenha consciência clara da superioridade de um em relação ao outro quanto à sustentabilidade é um dos

fatores associados à indústria da construção civil que torna a Avaliação do Ciclo de Vida método de extrema importância para a mesma. Além do exposto, a propagação de técnicas rudimentares de produção, descarte inadequado de resíduos da construção e, na fase de uso, o baixo desempenho dos sistemas construídos demonstram pouca preocupação do setor com a gestão ambiental e o ciclo de vida do que é produzido, denotando alta necessidade de aplicação do método de gestão no setor, para que se possa avaliar e diminuir o impacto do mesmo para com sua vizinhança e que se otimizem os recursos utilizados, tanto naturais quanto financeiros.

## **2.1. CONCEITOS RELACIONADOS À ACV E EXEMPLIFICAÇÃO**

Anteriormente à descrição do método de aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida propriamente dito, julga-se necessário descrever alguns conceitos básicos relacionados à metodologia e que são de crucial entendimento para o decorrer da realização dos estudos. Tais conceitos estão majoritariamente presentes no texto base da família de normas ISO 14040, os quais foram traduzidos para as NBR ISO 14040 e 14044, e serão objeto desta seção. Outros serão descritos oportunamente no decorrer do texto em pontos que seja necessário utilizá-los no processo de descrição metodológica para melhor entendimento.

Inicialmente, há que se conceituar o que se caracteriza pelo dito produto analisado sob a ótica da Avaliação do Ciclo de Vida.

O produto, em administração e *marketing*, consiste em “algo que pode ser oferecido a um mercado para apreciação, aquisição, uso ou consumo e que pode satisfazer um desejo ou necessidade. Produtos incluem mais do que apenas bens tangíveis. Definindo amplamente, incluem objetos físicos, serviços, eventos, pessoas, lugares, organizações, ideias ou um misto de todas essas entidades”. (ARMSTRONG, 2007)

Juridicamente, produto é definido pelo Art 3º, parágrafo 1º do Código de Defesa do Consumidor como “qualquer bem, móvel ou imóvel, material ou imaterial”. (BRASIL, 2012)

O conceito de produto dentro da gestão ambiental se assemelha em diversos pontos à conceituação anterior. O produto, pela ACV, trata de algo fruto dos processos dentro do ciclo de vida ou do sistema, e que, analogamente ao conceito administrativo, satisfaz uma necessidade, ou seja, cumpre uma função.

Segundo Silva *et al.*, 2014, o produto na Avaliação do Ciclo de Vida constitui-se de “matéria ou energia que sai de um sistema de produto e vai para outro sistema de produto”, o que demonstra similaridade com o conceito legal, já que define que pode ser algo material ou não.

Em consideração ao conceito determinado de produto, o ciclo de vida pode ser entendido como “o conjunto de todas as etapas necessárias para que um produto cumpra sua função na cadeia de produtividade”. (BLUMENSCHNEIDER; MILLER, 2016)

Desta forma, o ciclo de vida pode ser entendido como um sistema de produto que engloba todos os processos relacionados ao mesmo em suas diversas etapas de existência, com a finalidade de cumprimento de sua função.

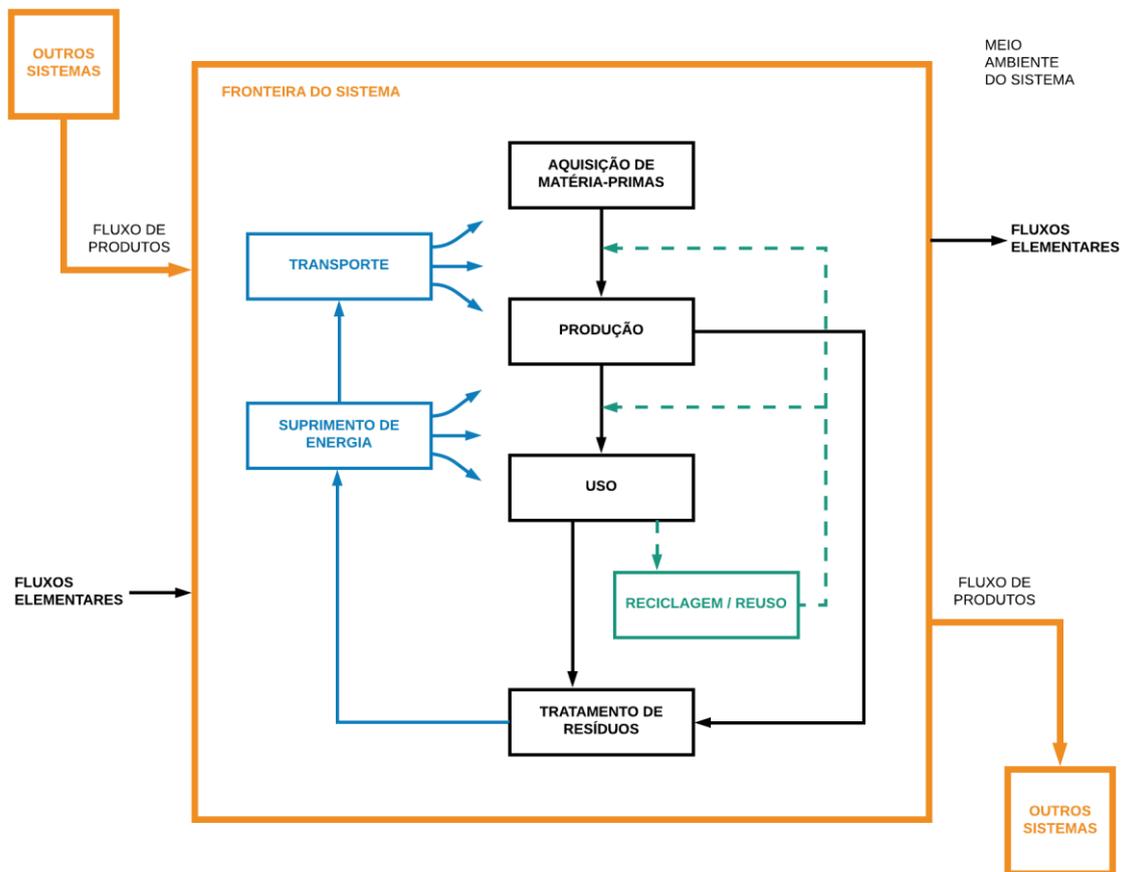
Um sistema de produto pode ser descrito, ainda, conforme preconiza a NBR ISO 14040 como o “conjunto de unidades de processo, conectadas material e energeticamente, que realiza uma ou mais funções definidas”. (ABNT, 2009b).

Trata-se do conjunto de operações que têm relação entre si, seja direta ou indiretamente, e que atuam para um resultado comum, ou seja, exercem a mesma função ou conjunto de funções.

Tal sistema possui fronteiras, ou seja, limites que o separam do meio em que se insere, denominado vizinhança, a qual troca insumos e energia com o sistema, fornecendo o subsídio necessário ao seu funcionamento e também absorvendo produtos e resíduos de seus processos.

“A descrição física do sistema é uma descrição quantitativa dos fluxos elementares e de produtos que atravessam os limites do sistema (tanto para as entradas quanto para as saídas), das unidades de processo e dos fluxos intermediários de produtos dentro do próprio sistema”. (CHEHEBE, 1998)

Graficamente, o sistema pode ser demonstrado como na figura a seguir, adaptada ainda de Chehebe, 1998.



**Figura 2 - Exemplo geral de sistema de produto Adaptado de Chehebe, 1998.**

Um sistema de produto elementar, como demonstra a figura, é composto de fronteiras bem definidas que o separam da vizinhança, a qual supre o mesmo com fluxos elementares, os quais também são produtos dos processos internos, e fluxos de produtos necessários ao sistema em questão.

Como fluxo elementar entende-se, conforme texto descritivo da NBR ISO 14040, o “material ou energia que entra no sistema sob estudo, que foi retirado do meio ambiente sem transformação humana prévia” no caso de fluxos elementares de entrada, ou “sem transformação humana subsequente” no caso de fluxos elementares de saída. (ABNT, 2009b)

Internamente, o sistema de produto é composto, como descrito, por um conjunto de processos interligados que exercem a mesma função – no caso a obtenção do produto em questão. Neste ponto, o sistema pode ser tão detalhado quanto necessário de modo a se obter o melhor resultado do estudo, sendo a menor unidade de processo denominada processo elementar ou unidade de processo, e consiste, conforme texto normativo, da “menor porção de um sistema de produto para a qual são coletados dados quando é realizada uma avaliação do ciclo de vida”. (ABNT, 2009b)

Um sistema de produto com processos internos que envolvam extração de matéria prima, transporte, produção, uso, descarte e logística reversa pode ser facilmente definido como o ciclo de vida do produto, de forma que envolve todos os processos desde a criação ao descarte final. Desta forma, retomando a definição de ciclo de vida, este também pode ser conceituado como o sistema de produto que envolva os processos com mesma função que englobem a vida do produto do berço ao túmulo.

Em termos gerais, nota-se que o sistema de produto, unidade de processo e o ciclo de vida são termos que dependem da escala de estudo e das fronteiras de sistema determinadas. O sistema de produto poder ser tão grande tal qual englobe todos os processos de troca de matéria e energia do meio ambiente, por exemplo, ou englobar todos os processos do ciclo de vida de um produto.

Outro conceito necessário ao entendimento da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida e posteriormente utilizado como etapa metodológica chave do estudo proposto neste trabalho está relacionado à função do sistema e/ou produto e à unidade funcional.

A função do produto, conforme Silva *et al.*, 2014 é dada pela “característica de desempenho do produto, (...) é a finalidade do produto selecionada para ser o objeto de estudo de ACV”.

Chehebe, 1998, descreve a função como “a definição clara das características de performance do produto a ser modelado”.

Neste aspecto, nota-se que a função nada mais é do que a finalidade a que o produto foi criado, definida a partir de padrões de desempenho pré-

definidos e que devem ser cumpridos. Um produto pode ter várias funções dentro de sua vida útil, devendo a função principal ser selecionada dependendo do objetivo e escopo do estudo em questão.

Com relação à construção civil, pode-se utilizar como exemplo de produto o concreto estrutural, armado, com função de sustentar certa carga imprimida à edificação. A função principal do elemento é a sustentação estrutural, contudo outras funções podem ser relacionadas, tais como vedação contra intempéries, estética, isolamento térmico e acústico, isolamento contra o fogo, etc.

Sob a ótica da ACV voltada à função do produto, define-se a unidade funcional, segundo a NBR ISO 14044, como “desempenho quantificado de um sistema de produto para utilização como unidade de referência”. (ABNT, 2014b)

A unidade funcional consiste da quantificação de determinada característica do desempenho do produto ou processo que esteja intrinsecamente relacionada à sua função, fator que possibilita e valida numericamente o estudo de ACV executado.

Inaba *et al.*, 2011 também descrevem a unidade funcional:

“A unidade funcional é a base de comparação dos sistemas de produto (bens e serviços) se eles provêm a mesma ou funções muito similares (conseqüentemente o nome). Ela descreve quantitativamente a função dos sistemas de produto a serem comparados”.

Em outras palavras, trata da unidade básica do estudo de avaliação realizado, unidade esta que pode ser comparada quantitativamente a outra que exerça função semelhante, dados seus limites característicos que a definem como tal.

Retomando o exemplo do concreto para edificações, Paula, 2016 descreve, em seu estudo de Avaliação do Ciclo de Vida de concretos compostos com RDC (Resíduos de Construção e Demolição), a unidade funcional como “o volume de argamassa ou concreto, em m<sup>3</sup>, necessário para o desenvolvimento de um (01) MPa de resistência à compressão aos 28 dias e um (01) ano de vida útil”, relacionando-a a uma característica de desempenho, fator que denota o

caráter de gestão pela função do produto, o que permite uma avaliação com proximidade à prática.

Em consideração ao apresentado, pode-se definir para cada função do concreto, a fim de denotar exemplificação, uma unidade funcional distinta, mesmo que o objeto de estudo seja um concreto produzido com os mesmos processos e características finais.

O quadro a seguir demonstra alguns exemplos de aplicações do concreto que podem ser objetos de estudo de ACV e suas respectivas unidades funcionais definidas.

**Quadro 1: Exemplos de funções e respectivas unidades funcionais para concreto estrutural e não estrutural em edificações**

FUNÇÃO	UNIDADE FUNCIONAL
Resistência à compressão	“Volume de argamassa ou concreto, em m <sup>3</sup> , necessário para o desenvolvimento de (01) MPa de resistência à compressão aos 28 dias e (01) ano de vida útil”
Impermeabilização de parede de reservatório de água	Volume de argamassa ou concreto superplastificante <sup>2</sup> com aditivos impermeabilizantes, em m <sup>3</sup> , necessário para manter elemento estrutural de 1 m <sup>2</sup> de área impermeável após 1 ano de vida útil
Isolamento térmico	Volume de concreto celular <sup>3</sup> , em m <sup>3</sup> , necessário à construção de um ambiente com laje superior de 1 m <sup>2</sup> , que retenha 1 °C de temperatura externa

**Adaptado de PAULA, 2016 e ABNT, 2001**

<sup>2</sup> Aditivos de concreto superplastificantes consistem em elementos que aumentam significativamente a fluidez do concreto, dada essencialmente pela relação água cimento da mistura básica para a composição do mesmo. A água em excesso, utilizada inicialmente para fornecer plasticidade e trabalhabilidade, após evaporada, deixa vazios capilares no elemento estrutural que diminuem sua resistência e aumentam sua permeabilidade. O superplastificante funciona aumentando a fluidez sem a necessidade de acréscimo de água, o que diminui a quantidade e volume de poros e aumenta a impermeabilização do elemento, conforme descreve a (REVISTA TÉCNICA, 2017)

<sup>3</sup> O concreto celular, também conhecido como poroso e espumoso, possui vazios que o tornam mais leve que o concreto convencional, podendo ser usado como isolante térmico e acústico de coberturas, formando uma camada acima da laje de concreto convencional. (BONAFÉ, GABRIEL; BATTAGIN, ARNALDO FORTI; HELENE, 2018)

**Continuação do Quadro 1 - Exemplos de funções e respectivas unidades funcionais para concreto estrutural e não estrutural em edificações**

FUNÇÃO	UNIDADE FUNCIONAL
Isolamento acústico	Volume de concreto celular, em m <sup>2</sup> , necessário à construção de um ambiente com laje superior de 1 m <sup>2</sup> , que retenha X decibéis de som da vizinhança
Segurança ao fogo para enclausuramento de escadas, compartimentação vertical, etc, para edificações	Volume de concreto necessário à construção de parede estrutural corta fogo com área de 1 m <sup>2</sup> , capaz de resistência à temperatura em 15% nos primeiros 10 minutos de exposição, conforme NBR 5628

**Adaptado de PAULA, 2016 e ABNT, 2001**

É notório que a unidade funcional, conforme exemplos, assume aspectos diferenciados dependendo do objetivo do estudo e da função analisada. O concreto possui diversas características passíveis de análise e quantificação, devendo o estudo dar o direcionamento necessário à determinação destes quesitos.

É explícito também o caráter equalizador da unidade funcional, enquanto que permite linearizar diferenças de performance, comparando-as sempre através da definição de uma escala com grande variabilidade, mas que não influencia no resultado final tendo em vista que, ao ser definida, é utilizada como base para todo o estudo, sendo parâmetro de medição para os impactos sob um mesmo cenário.

Entretanto, a evidência deste caráter variável demonstra que estudos de Avaliação do Ciclo de Vida não dão informações absolutas no que diz respeito aos resultados. A ACV só pode indicar se o produto A é mais sustentável que o produto B, ou se a fase de uso é a menos sustentável dentro do ciclo de vida do produto estudado (HEIJUNGS, REINOUT; GUINÉE, 2012), considerando um panorama específico, bem definido, que pode e deve ser extrapolado para outras escalas mas não denota indicação holística do caráter sustentável de determinado item.

Em relação ao exposto, outro exemplo de unidade funcional pode ser um produto fabricado de materiais distintos mas que exerça essencialmente a mesma função, tal como duas cadeiras, uma metálica e outra de madeira. Na prática, estas duas cadeiras podem ter seus ciclos de vida analisados comparativamente, de forma a se evidenciar qual material constituinte possui melhor desempenho ambiental se comparado ao outro, sendo outro fator de definição e tomada de decisão em diversos níveis.

Por fim, um conceito básico a ser empregado no método a seguir consiste no que é chamado fluxo de referência. A NBR ISO 14044 define fluxo de referência como a “medida das saídas de processos em um dado sistema de produto, requeridas para realizar a função expressa pela unidade funcional”. (ABNT, 2014b)

O fluxo de referência determina um parâmetro numérico ao qual está atrelada a unidade funcional, de forma que facilite a análise de inventário e interpretação dos resultados ao fim do estudo, uma vez que determina, para produtos distintos, certo valor de referência para atendimento da função descrita por essa unidade funcional.

Segundo o exemplo do concreto em edificações, pode ser realizada uma Avaliação do Ciclo de Vida comparativa entre concretos de composições distintas, a fim de determinar qual destes atende os requisitos de desempenho (funções do produto), de forma menos impactante ao meio ambiente, para uma função e unidade funcional específicas, conforme o quadro a seguir, que resume estudo comparativo realizado por Robayo-Salazar *et al.*, 2018.

No exemplo em questão, nota-se que, a fim de realizar o estudo comparativo, ainda que a unidade funcional definida para a ACV seja dada como o volume de concreto de 1 m<sup>3</sup>, o fluxo de referência para que se obtenha essa unidade funcional e se atenda a função mínima determinada de resistência à compressão de 21 MPa para a idade de 28 dias de fabricação do concreto, as amostras de concreto convencional composto com Cimento Portland Ordinário, e o chamado concreto com Cimento Binário Álcali-Ativado (composto por elementos alternativos provenientes do resíduo da própria produção do cimento, combinados com elementos convencionais da mistura) possuem fluxos de

referência distintos, justamente por suas composições diferenciadas, traduzidos pela dosagem necessária a cada uma das misturas.

**Quadro 2: Descrição de ACV comparativa entre concretos de composições distintas**

ITEM	DESCRIÇÃO
Escopo	ACV comparativa entre concretos estruturais de composição distinta: Cimento Portland Ordinário (OPC - Ordinary Portland Cement) e Cimentos Binários Alkali-Ativados (AABCs - Alkali-Activated Binary Cements) <sup>4</sup> quanto ao Potencial de Mudança Global de Temperatura (GTP)
Função	Resistência à compressão do concreto aos 28 dias de idade
Unidade funcional	1 m <sup>3</sup> de concreto (AABC e OPC) com especificações da mistura de no mínimo 21 MPa de resistência à compressão aos 28 dias
Fluxo de referência do OPC	Dosagem de concreto convencional necessária à obtenção de mistura de 1 m <sup>3</sup> com resistência à compressão de 21 MPa aos 28 dias de idade (proporção de cimento Portland, agregado miúdo e graúdo e água)
Fluxo de referência do AABC	Dosagem do Concreto Binário Álcali-Ativado necessária à produção de 1 m <sup>3</sup> de mistura capaz de resistir à compressão de 21 MPa aos 28 dias de idade – no caso do estudo em questão fixada em 70% de pozolana vulcânica e 30% de escória de alto forno granulada por peso de mistura

**Adaptado de ROBAYO-SALAZAR et al., 2018**

<sup>4</sup> Cimento Portland Ordinário x Cimentos Binários Alkali-Ativados: A indústria do cimento tem um impacto estimado de 2 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>/ano, o que corresponde a cerca de 10% das emissões humanas no mundo. Os Cimentos Alkali-Ativados são alternativas ao cimento convencional oferecendo a possibilidade de usar 100% de materiais suplementares ao cimento, resultando em cimentos livres de Cimento Portland Ordinário, obtidos através de meta caulinita, cinzas volantes e escória de alto forno granulada (subprodutos da produção cimenteira originalmente descartados). Os chamados AACs possuem vantagens técnico-ambientais com relação ao cimento ordinário, principalmente no que diz respeito a emissão de CO<sub>2</sub>, e, teoricamente, não afetam as propriedades do concreto final, porém seu volume de produção não atende à demanda da indústria pelo cimento. Desta forma, o Cimento Binário Alkali-Ativado trata uma proporção de mistura ideal que contenha Alkali-Ativados e cimento ordinário, a fim de diminuir impactos e atender o volume necessário de produção (ROBAYO-SALAZAR et al., 2018)

## 2.2. DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA DIFUNDIDA

A metodologia de aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida é definida pela família de normas da ISO (*Internation Organization for Standarlization* – ou Organização Internacional para Normatização) 14040 a 14044, 2004, que dá disposições sobre aplicação do método para sistemas de gestão ambiental e norteia as práticas de gestão ambiental em todo o mundo a partir da definição dos conceitos básicos acerca do ciclo de vida e da metodologia primordial de sua aplicação e boas práticas.

Anteriormente à existência de uma metodologia bem definida, houve uma proliferação de estudos sobre o ciclo de vida, principalmente no que diz respeito a produtos e embalagens, sendo os resultados obtidos influenciados pelas vontades mercadológicas das empresas que os financiavam, tornando-os altamente discrepantes e sem credibilidade:

“Várias empresas e instituições, na ânsia de utilizar-se dessa ferramenta como estratégia de marketing, realizaram, intencionalmente ou não, estudos tendenciosos com base na metodologia de ACV, levando a público somente aqueles resultados que lhe interessavam”. (CHEHEBE, 1998)

A proliferação de estudos realizados com metodologias diversificadas e pouco confiáveis, dadas as discrepâncias de resultados observadas à época para estudos semelhantes, e ainda influência do mercado sobre o processo justificaram uma urgente necessidade de internacionalização de uma padronização metodológica e dos critérios utilizados nos estudos de ACV.

As normas que norteiam metodologicamente a aplicação da avaliação tiveram seu início em meados da década de 1990, no comitê técnico 2017 da ISO, com base na crescente necessidade de normatizar os processos de aplicação do já reconhecido importante método, cujo rascunho metodológico se deu pela SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry* – Sociedade de Toxicologia Ambiental e Química), conforme descrevem *Wang et al.*, 2011:

“A primeira tentativa de desenvolver uma estrutura de ACV adequada foi alcançada durante o *workshop* da SETAC “Uma Estrutura Técnica para Avaliações do Ciclo de Vida” em Agosto de 1990 (...). A estrutura da ACV, o

famoso “Triângulo SETAC”, consistia em três componentes: Invetário – Análise de Impactos – Análise de Melhorias”.

Ainda sobre o surgimento da metodologia de trabalho da ACV como hoje a conhecemos, Wang *et al.*,2011, acrescentam:

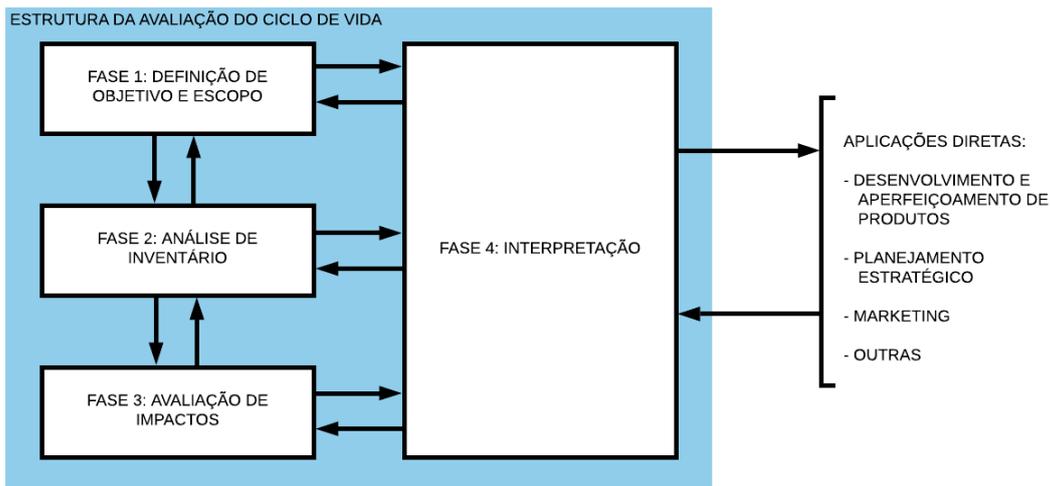
“Foi mérito da SETAC iniciar o processo de normatização que culminou nas “Diretrizes para Avaliação do Cilco de Vida: Um Código de Prática”. A estrutura da ACV, anteriormente um triângulo, agora incluía quarto components: Definição de Objetivo e Escopo – Análise de Inventário – Análise de Impactos – Análise de Melhorias”.

O escopo de aplicação definido pela Sociedade de Toxicologia Ambiental e Química (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry – SETAC*) foi levemente modificado pela publicação das normas ISO 14040, 14041, 14042 e 14043 na mesma década, em que a Avaliação de Melhorias – *Improvement Assessment* – foi substituída pela fase de Interpretação.

Revisadas em 2006, a família de normas ISO relacionada à Avaliação do Ciclo de Vida passou a se condensar nas normas 14040 e 14044, as quais se tornaram modelo incontestável para normatização do método de avaliação.

No Brasil, a ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, publicou versões equivalentes traduzidas inicialmente em 2001 (NBR ISO 14040, NBR ISO 14041, NBR ISO 14042 e NBR ISO 14043) e posteriormente em 2009 e 2014 (NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044 em substituição às anteriores). Tais normas embasarão o texto descritivo e definições apresentadas a seguir, com acréscimo bibliográfico de autores complementares que facilitem e fortaleçam o entendimento do tema.

O escopo geral de aplicação da avaliação do ciclo de vida é galgado em quatro fases distintas, as quais são demonstradas, com sua inter-relação pelo fluxograma a seguir, e descritas detalhadamente em seus aspectos e definições principais em seguida.



**Figura 3 - Fluxograma de 4 fases de aplicação da metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida**

**Adaptado de ABNT, 2009**

Conforme demonstrado, os estudos envolvendo a aplicação do método de Avaliação do Ciclo de vida, em geral envolvem fases gerais de trabalho, as quais são definidas, sequencialmente por: definição de objetivo e escopo do estudo; análise de inventário do ciclo de vida; avaliação dos impactos e, concomitantemente às três definidas, ao longo de todo o processo, a interpretação dos dados e resultados obtidos pelos processos metodológicos parciais.

### **2.2.1. FASE 1 - DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO**

Inicialmente, como primeira fase do estudo, tem-se a definição de objetivo e escopo de trabalho. Por definição do objetivo, conforme preconiza a NBR ISO 14040, 2009, entende-se a definição da aplicação pretendida para a análise; as razões para a execução do estudo em questão; o público-alvo, a quem se pretende comunicar os resultados e, desta forma, meios para sua divulgação; se há ou não intenção de utilizar as informações fornecidas pelos resultados para

realizar afirmações comparativas entre produtos e/ou processos a serem divulgadas. (ABNT, 2009b)

Em suma, o objetivo da análise deve estar claro e bem definido quanto à sua motivação, aplicação, a quem se destina e impactos dos seus resultados, principalmente divulgados. Qualquer um dos quesitos apontados está intimamente ligado ao sucesso ou fracasso do estudo, na medida em que são condições de contorno determinantes do escopo do mesmo, de sua profundidade, detalhamento e de quais elementos estudados devem ser encarados como mais ou menos relevantes.

O escopo do estudo, por sua vez, conforme descreve a NBR ISO 14040, 2009, deve incluir a definição do sistema de produto a ser estudado; as funções deste sistema ou sistemas comparados; a determinação da unidade funcional; as fronteiras do sistema; procedimentos de alocação; categorias de impacto selecionadas e metodologia para avaliação de impactos bem como interpretação subsequente a ser utilizada; requisitos de dados; pressupostos; limitações; requisitos iniciais quanto à análise de dados; tipo de análise crítica, se aplicável; tipo e formato do relatório requerido para estudo. (ABNT, 2009b)

Os conceitos de alocação e categorias de impacto serão descritos mais adiante, na caracterização da fase de Análise de Impactos do Ciclo de Vida.

A fronteira do sistema, conforme demonstrado anteriormente, define os limites do estudo, ou “quais processos elementares devem ser incluídos na ACV”, conforme NBR ISO 14044, 2014. Tal procedimento também deve ser utilizado para definir quais entradas e saídas serão incluídas e excluídas da avaliação. (ABNT, 2014b)

Como entradas e saídas entende-se aqui fatores que englobem consumo de recursos e emissões atmosféricas, por exemplo, ou outros fatores e materiais palpáveis ou não, que assumam posição de representatividade ao estudo em questão.

A NBR ISO 14044, 2014, descreve os critérios de corte para inclusão de entradas e saídas no estudo, conforme demonstra quadro a seguir, adaptado do texto normativo.

**Quadro 3: Critérios de corte de dados considerados em estudo de ACV, conforme ABNT NBR ISO 14044**

<b>CRITÉRIO DE CORTE</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
MASSA	Inclusão no estudo de todas as entradas cuja contribuição cumulativa supere uma porcentagem definida da entrada de massa do sistema de produto que está sendo analisado. Dessa forma, entradas não mássicas ou com massas insignificantes dada a linha de corte definida, seriam ignoradas na análise.
ENERGIA	Decisão de inclusão no estudo das entradas que possuíssem contribuição cumulativa de valor energético quantificado superior a determinado limite mínimo estabelecido.
SIGNIFICÂNCIA AMBIENTAL	Inclusão de entradas e saídas que possuam relevância ambiental para o estudo, ou, em outras palavras, contribuam com mais de uma parcela definida dos dados individuais do sistema de produto em questão.

**Adaptado de ABNT, 2014**

Sobre os aspectos tratados, deve-se ponderar principalmente no que diz respeito a utilização do critério mássico, tendo em vista que massa e relevância ambiental no que concerne a influência da entrada nos impactos gerados pelo sistema de produto como um todo não são grandezas diretamente proporcionais ou intrinsecamente relacionadas. A contribuição mássica pode dar a ideia de que a entrada em questão impacta de forma maior na vizinhança do sistema, porém tal fator pode ser determinante para condenação do estudo, caso a relação não seja verídica.

O escopo trata, desta forma, das dimensões do estudo no que diz respeito ao seu início e fim, quais e quantos são os sistemas analisados dentro de um ciclo de vida e o nível de detalhamento.

A determinação do escopo tem direta influência sobre quais aspectos deverão ser tratados pela avaliação a ser conduzida e, desta forma, se o produto ou processo analisado será objeto de estudo do berço ao túmulo ou sofrerá cortes de sub processos do ciclo de vida que se julgue irrelevantes aos resultados obtidos: Torna-se crucial que tais definições iniciais sejam traçadas da melhor forma possível, para que se obtenha resultados confiáveis. A respeito, Chehebe, 1998, descreve aspectos importantes:

“Algumas vezes, para proceder-se essa análise, lida-se com árvores de processo muito complicadas, levando o profissional que está desenvolvendo o estudo a ser tentado a omitir algumas partes que lhe parecem irrelevantes. Essa aparentemente inofensiva omissão, no entanto, pode, na maioria das vezes, levar a erros muito sérios no resultado final do trabalho.”

Há que se destacar, neste ponto, o caráter iterativo da ACV. Em se tratando disto, é notório que, apesar de necessárias as definições de objetivo e escopo e suas características básicas ao início do processo, estes fatores devem ser sempre analisados e passar por revisão, podendo ser modificados para melhor desempenho dos resultados ao final do estudo.

A fase de objetivo e escopo por fim, conforme definição metodológica da NBR ISO 14040, 2009, determina requisitos de qualidade dos dados coletados para o estudo a ser desenvolvido, os quais podem ser verificados no quadro a seguir.

**Quadro 4: Requisitos de qualidade de dados**

REQUISITO	DESCRIÇÃO
Período de tempo coberto	Idade desejada para os dados e período em que os dados devem ser coletados para se configurarem válidos ao estudo. A exemplo de um censo demográfico, dados antigos podem dar falsa percepção e resultados distorcidos da realidade atual.
Área geográfica coberta	Área de coleta necessária para satisfazer o objetivo do estudo (local, regional, etc)

**Adaptado de ABNT, 2009; CHEHEBE, 1998**

#### **Continuação do Quadro 4 - Requisitos de qualidade de dados**

<b>REQUISITO</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
Tecnologias cobertas	Melhor tecnologia disponível ou pior unidade em operação, conforme descreve CHEHEBE, 1998.
Precisão, completeza e representatividade dos dados	Medida da variabilidade dos dados e qualidade dos dados coletados relacionados a cobertura da realidade desejada. Em outras palavras, qualidade do universo amostral frente a população absoluta.
Consistência e reprodutibilidade dos métodos usados ao longo da ACV	Avalia a uniformidade de aplicação da metodologia para todos os itens do estudo e sua capacidade de reprodução em outros estudos.
Fontes dos dados e sua representatividade	Trata da importância da fonte dos dados coletados frente ao assunto estudado, tal como grau de confiança que a fonte possui perante a comunidade.
Incerteza da informação	Os dados utilizados devem ser ao máximo embasado em informações precisas, o que nem sempre é possível. Quanto maior a incerteza da informação, menor a confiabilidade do estudo enquanto representação válida da realidade

***Adaptado de ABNT, 2009; CHEHEBE, 1998***

#### **2.2.2. FASE 2 - ANÁLISE DE INVENTÁRIO (ICV)**

Uma vez estabelecidos objetivo e escopo do estudo, segue-se o Inventário do Ciclo de Vida.

A NBR ISO 14044 demonstra uma definição da fase de análise do inventário que envolve o caráter do berço ao túmulo do método: “fase da avaliação do ciclo de vida envolvendo a compilação e quantificação das entradas e saídas de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida”. (ABNT, 2014b)

Em outras palavras, dado o *approach* inicial da primeira fase do método, a segunda fase trata de levantar dados dos processos e produtos que configuram as entradas e saídas do ciclo de vida estudado. Conforme Chehebe, 1998, o inventário consiste na coleta de dados e procedimentos de cálculos para permitir a elaboração dos resultados. O autor o compara a um balanço contábil-financeiro, porém em termos energéticos e mássicos.

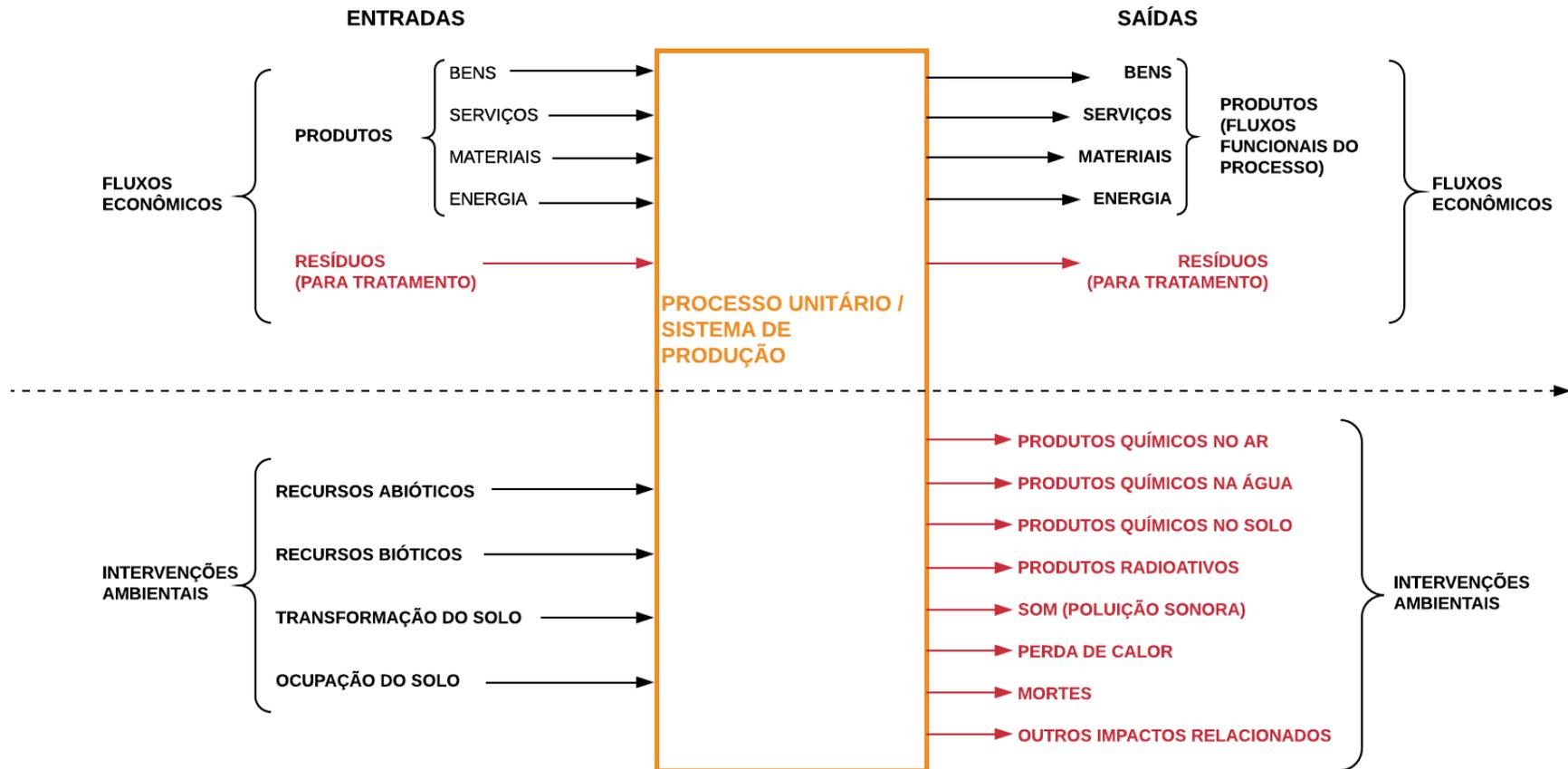
Deste modo, a soma da energia ou massa que entra no sistema tem que ser igual à que sai, em consonância às leis físicas de conservação de massa e energia.

Sobre a fase de inventário, a NBR ISO 14040, 2009, discorre que o processo é iterativo: na medida em que os dados são coletados e mais informações sobre o sistema transparecem, o próprio processo de coleta pode sofrer modificações devido ao surgimento de novos requisitos e limitações. (ABNT, 2009b)

O UNEP (*United Nations Environment Programme* – Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas), em seu texto sobre os Princípios de Orientação Global para Bases de Dados de Avaliação do Ciclo de Vida, demonstra quais são os dados de entrada e saída que devem ser inventariados, os quais se dividem em fluxos econômicos (representados pelos produtos e resíduos de outros sistemas), e intervenções ambientais. (WANG *et al.*, 2011)

A figura a seguir demonstra a relação entre entradas, saídas e o processo do sistema de produto. As entradas estão relacionadas a produtos (bens, serviços, materiais e energia) e resíduos para tratamento, que são denominados os fluxos econômicos. Sob outro aspecto, consideram-se entradas ainda as intervenções ambientais relacionadas ao processo, tais como consumo de recursos bióticos e abióticos, uso e transformação do solo.

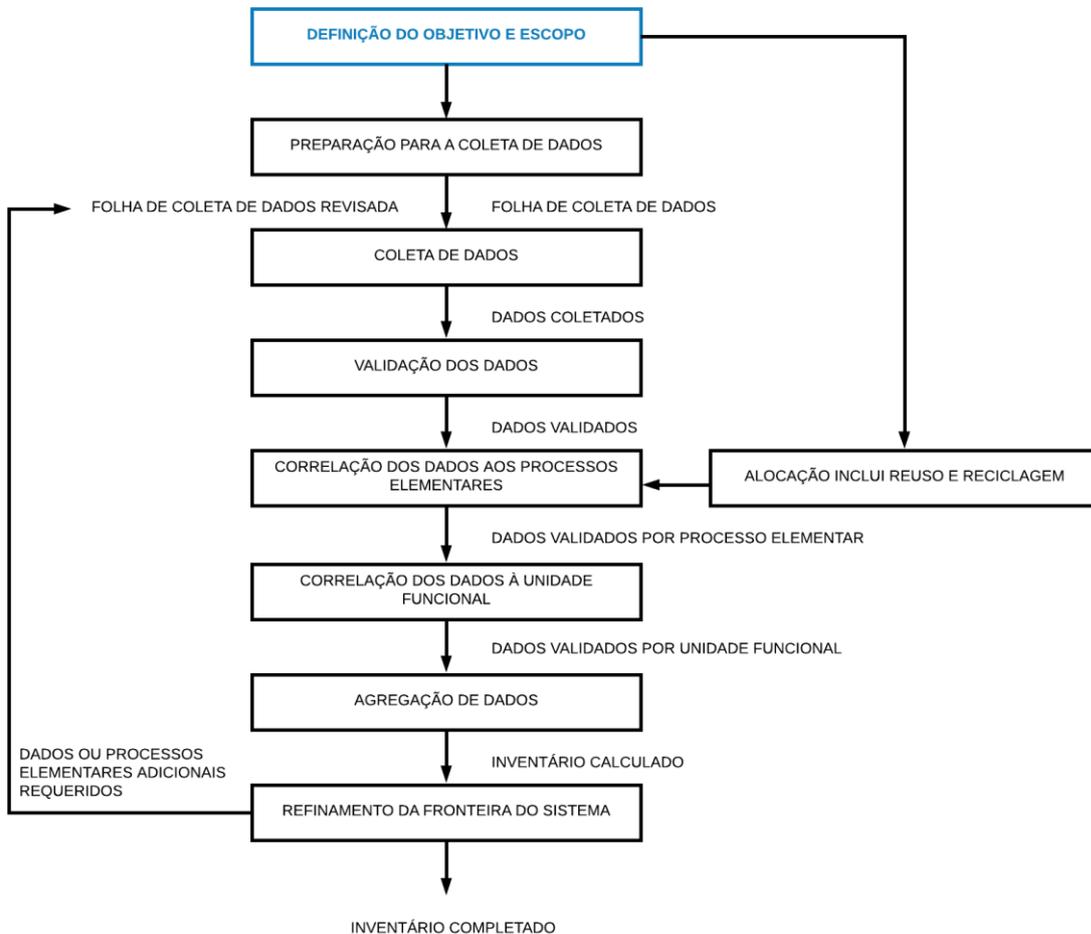
As saídas do processo unitário, analogamente às entradas, consideram fluxos econômicos (bens, serviços, materiais, energia, que são determinados os produtos do processo, fruto dos fluxos funcionais do mesmo, bem como resíduos destes fluxos destinados à deposição e tratamento) e intervenções ambientais (estas representadas por lançamento de produtos químicos no ar, água e solo, radioatividade, poluição sonora, calor, mortes diretas e outros impactos).



**Figura 4 - Dados de entradas e saídas passíveis de inventariado**

**Fonte: Adaptado de WANG et al., 2011**

A figura a seguir, adaptada da NBR ISO 14044, 2014, demonstra fluxograma das etapas da fase de análise do Inventário do Ciclo de Vida.



**Figura 5 - Etapas do Inventário do Ciclo de Vida segundo NBR ISO 14044**  
**Adaptado de ABNT, 2014**

Inicialmente, após a definição de objetivo e escopo, a fase de inventário deve proceder à preparação para a coleta de dados com a definição da folha de coleta de dados, os quais, após coletados, devem ser validados e correlacionados aos processos elementares do ciclo de vida, conforme demonstrado anteriormente pela figura 1.

A coleta de dados constitui-se muitas vezes como a tarefa mais duradoura e dispendiosa do processo de Avaliação do Ciclo de Vida. Dentre as fontes de dados possíveis, constam, conforme Wang *et al.*, 2011: normas técnicas, estatísticas, licenças ambientais, literatura técnica, informações internas das

empresas (bases de dados internas), fornecedores e fabricantes de produtos e Bancos de Dados de Análise do Ciclo de Vida, os quais serão objeto de tópico específico, com ênfase na descrição da base de dados utilizada para o estudo em questão aqui desenvolvido.

A validação de dados se faz necessária para garantir a confiabilidade do estudo. Após a coleta, validações como balanços mássicos e energéticos de entradas e saídas ou análises comparativas de tendência entre os dados coletados e a bibliografia para o local são válidos.

Considerando a etapa de correlação dos dados aos processos elementares do sistema de produto, dá-se o conceito de alocação: conforme a NBR ISO 14040, 2009, trata-se da repartição dos fluxos de entrada ou de saída de uma unidade de processo no sistema de produto”. (ABNT, 2009b)

Retomando o conceito de fluxo de referência, em consideração aos processos elementares, quando “um processo tem múltiplos fluxos de referência, a alocação é o método de associar *inputs* e *outputs* a esses fluxos” (INABA *et al.*, 2011).

Em consonância ao exposto, a alocação se dá quando as saídas ou outputs dos processos geram fluxos de referência distintos, devendo os dados serem classificados segundo essas categorias.

Pela figura anterior, nota-se que as etapas da fase devem ser repetidas tantas vezes quantas forem necessárias, a partir da percepção da insuficiência dos dados ou processos elementares disponíveis após a agregação dos dados.

### **2.2.3. FASE 3 - AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DO CICLO DE VIDA (AICV)**

A partir dos resultados do Inventário do ciclo de vida, demonstrados por uma tabela como lista de dados com intervenções ambientais, a Avaliação de Impactos visa dar um panorama da significância dos impactos potenciais do ciclo de vida do produto estudado. Conforme descrição da NBR 14040, este processo

envolve a associação de dados de inventário com os impactos ambientais específicos e a tentativa de compreender tais impactos. (ABNT, 2009b)

Ainda conforme a NBR ISO 14044, 2014, a fase de avaliação pode incluir elementos tais como os demonstrados pelo quadro a seguir, os quais são classificados como elementos obrigatórios e elementos opcionais.

**Quadro 5: Processos envolvidos na fase de Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida**

	ITEM	DESCRIÇÃO
<b>ELEMENTOS OBRIGATÓRIOS</b>	Seleção e definição das categorias de impacto	Identificação dos focos de preocupação ambiental, categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização utilizados pelo estudo, os quais, na maioria dos casos, serão selecionados dentre os modelos já existentes.
	Classificação	Definida como a correlação e agrupamento de dados de inventário com as categorias de impacto selecionadas para o estudo.
	Caracterização	Processo onde os dados do inventário já atribuídos a uma determinada categoria de impacto são modelados de forma que o resultado possa ser expresso em forma de indicador numérico para a categoria em questão
<b>ELEMENTOS OPCIONAIS</b>	Ponderação	Possível agregação dos resultados em casos muito específicos e somente quando significativos.

**Adaptado de ABNT, 2014**

Neste ponto, cabe a definição do que é chamado pelo método de categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização. A NBR ISO 14044, 2014, define as categorias de impacto como classes que representam as questões ambientais relevantes às quais os resultados da análise do ciclo de vida podem ser associados. (ABNT, 2014b)

Conforme a seleção das categorias de impacto depende do objetivo da ACV, e qual tipo de decisão será tomada baseada na ACV, dependendo também do tipo de aplicação do estudo. Um mesmo estudo de ACV comparativo de produtos pode ter seleções diferentes quanto aos impactos avaliados ao final do levantamento de dados do inventário, dependendo do público alvo e do enfoque ambiental.

Conforme Stranddorf, H. K.; Hoffmann, 2005, as principais categorias de impacto utilizadas em estudos de ACV estão descritas no quadro a seguir, que ainda demonstra o alcance das mesmas segundo escala geográfica.

**Quadro 6: Caracterização das categorias de impacto comumente demonstradas em estudos**

CATEGORIAS DE IMPACTO	ESCALA GEOGRÁFICA		
	GLOBAL	REGIONAL	LOCAL
Aquecimento Global	■		
Depleção da camada de ozônio	■		
Formação fotoquímica oxidante		■	■
Acidificação		■	■
Eutrofização		■	■
Ecotoxicidade		■	■
Toxicidade humana		■	■
Ambiente de trabalho			■
Odor			■
Som			■
Radiação ionizante	■	■	■
Consumo de recursos	■	■	■
Uso do solo			■
Resíduos			■

**Adaptado de STRANDDORF; HOFFMANN, 2005**

A categoria de impacto denominada como aquecimento global está relacionada ao efeito de aumento de temperatura na baixa atmosfera para acima

do normal devido à absorção de radiação proveniente do sol por gases do efeito estufa, tais como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, entre outros, conforme Stranddorf e Hoffmann, 2005a.

Ainda segundo os autores, a depleção estratosférica da camada de ozônio ocorre numa altitude entre 10 e 40 km. A máxima geração de ozônio estratosférico ocorre no topo da estratosfera como resultado de uma reação de oxigênio molecular (O<sub>2</sub>) e oxigênio atômico (O). A depreciação da camada tem causado aumento da entrada de radiação UV, com impactos em ecossistemas e organismos.

A formação fotoquímica oxidante está relacionada, conforme Stranddorf e Hoffmann, 2005b, com a degradação de Compostos Orgânicos Voláteis (VOC – *Volatile Organic Compounds*) na presença de luz e óxido de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), formando ozônio fotoquímico. Os efeitos biológicos são diversos: exposição de plantas ao ozônio pode resultar em danificação da superfície das folhas, exposição de humanos pode resultar em problemas respiratórios crônicos, irritação dos olhos, etc.

Os autores descrevem o impacto de acidificação como a liberação de prótons nos ecossistemas terrestre ou aquático. No ecossistema terrestre podem ser vistos efeitos como crescimento ineficiente da vegetação, morte de florestas, etc. No ecossistema aquático podem ser encontrados lagos ácidos sem qualquer vida. Efeitos no ciclo d'água podem causar chuvas ácidas.

Com relação aos impactos relacionados ao enriquecimento de nutrientes ou eutrofização, os autores afirmam que se trata do enriquecimento de ecossistemas aquáticos com nutrientes levando ao aumento da produção de plâncton, algas e plantas aquáticas levando à deterioração da qualidade da água e redução no valor de utilização do ecossistema.

A ecotoxicidade, por sua vez, inclui a princípio todas as substâncias que são tóxicas ao ambiente e frequentemente é dividida em duas partes: uma para o ecossistema terrestre e outra para o aquático.

Em analogia à anterior, a toxicidade humana, como afirmam Stranddorf e Hoffmann, 2005a, engloba um grupo de diferentes impactos em humanos, incluindo a princípio todas as substâncias que são tóxicas aos mesmos.

Seguindo a referência de impactos relacionados ao homem, o impacto no ambiente de trabalho ou saúde ocupacional e segurança é, a princípio, relacionado aos ocupantes enquanto estão no trabalho, ou seja, impacto direto e local, podendo ser físicos e psicológicos.

Odor e som estão relacionados a impactos locais relativos à modificação das características ambientais do meio imediatamente vizinho ao processo ou produto, tais como nas proximidades de estações de tratamento de esgotos ou estações elevatórias de adução de água potável para distribuição urbana, aonde as bombas vibram e liberam som.

O impacto de radiação ionizante, por sua vez, conforme Leonardo Academia, 2012, é um clássico exemplo de impacto fantasma que não possui conhecidos ponto médio ou ponto final. Promovida pela medição da radiação ionizante, por exemplo, de usinas nucleares gerando riscos para as populações vizinhas que não são palpáveis geográfica e temporalmente.

Com relação aos impactos de consumo de recursos, Stranddorf e Hoffmann, 2005a, descrevem que o uso de determinado recurso leva a uma reduzida disponibilidade do referido recurso para gerações futuras, principalmente se determinado uso se aproxima ou ultrapassa a capacidade de suporte<sup>5</sup> e renovação do mesmo.

Com relação ao impacto de uso do solo, o uso da terra, conforme os autores, deve ser tratado incluindo tanto o montante de terra usado para determinada atividade quanto o decréscimo de valor estético causado pela referida atividade.

---

<sup>5</sup> Capacidade de suporte do meio: Usualmente definida como a máxima população, de uma dada espécie, que pode ser suportada por um dado habitat sem que haja prejuízos na produtividade deste habitat. (REES, 1996) Em suma, em um contexto ambiental, a capacidade de suporte consiste do valor que certo meio consegue suportar em termos de consumo de recursos, por exemplo, e ainda se recuperar em certo tempo, de forma elástica.

Por fim, os resíduos podem ser definidos como co-produtos do processo do ciclo de vida que não possuem valor para o produtor. Dependendo de sua natureza, estes podem ser tratados de diferentes formas.

Os indicadores de categoria podem ser definidos como uma representação quantificável de uma categoria de impacto, conforme texto de definição da NBR ISO 14044 (ABNT, 2014b)

Os indicadores fornecem uma perspectiva melhorada dos dados de inventário com respeito à utilização de recursos, emissões e resíduos.

O fator de caracterização é considerado um fator derivado de um modelo de caracterização que é aplicado para converter o resultado da análise do inventário do ciclo de vida na unidade comum do indicador de categoria. (ABNT, 2014b)

Conforme Silva *et al.*, 2014 o fator de caracterização é determinado com base técnico-científica para converter os resultados do inventário aos resultados dos indicadores de categoria de impacto.

Desta forma, cronologicamente, o estudo deve proceder, após a coleta de dados, que como resultado gera uma planilha de dados, a escolha das categorias de impacto importantes ao estudo, e, em casos específicos, o desenvolvimento da categoria em questão, bem como os indicadores de impacto e os respectivos fatores de caracterização necessários ao tratamento dos dados coletados para a posterior classificação nas categorias determinadas.

A Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida não possui uma metodologia guia definida padronizada normativamente, principalmente no que concerne aos modelos matemáticos empregados na normalização e classificação dos dados ante às categorias de impacto aplicáveis.

Os métodos utilizados para os cálculos dos Impactos extraídos dos dados de Inventário são múltiplos e variados, devendo o autor do estudo escolher a metodologia mais adequada ao caso estudado.

Comparativamente, a metodologia de Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida pode ser distinguida em dois níveis: abordagem *midpoint* e abordagem *endpoint*.

Para o nível de avaliação de impactos *midpoint*, conforme Crespo Mendes; Bueno e Ometto, 2013, a caracterização usa indicadores localizados ao longo do mecanismo ambiental<sup>6</sup> antes de chegar ao ponto final da categoria.

Com relação ao nível *endpoint*, os autores ainda descrevem:

“a caracterização considera todo o mecanismo até seu ponto final, ou seja, refere-se a um dano específico relacionado com a área mais ampla de proteção, que pode ser saúde humana, ambiente natural ou recursos naturais.”

Goedkoop *et al*, 2016b descrevem a relação dos níveis da metodologia ICV com a confiabilidade do estudo:

“Em geral, indicadores que se situam próximos aos resultados do inventário (*midpoint*), possuem uma menor incerteza, na medida em que uma pequena parte do mecanismo ambiental precisa ser modelada, enquanto indicadores próximos aos *endpoints* podem ter incertezas significativas. Entretanto, indicadores *endpoint* são muito mais fáceis de compreender e interpretar por tomadores de decisão do que indicadores *midpoint*”.

O quadro a seguir demonstra algumas das principais metodologias de Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida (AICV) difundidas atualmente e sua caracterização.

**Quadro 7: Caracterização dos principais métodos de Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida utilizados no mundo**

MÉTODO	DESCRIÇÃO
CML	Manual holandês publicado em 2002 baseado em uma abordagem <i>midpoint</i> e seus modelos de caracterização foram selecionados através de uma extensa revisão das metodologias existentes no mundo.
Eco-Indicator 99	Desenvolvido na Holanda, é um método <i>endpoint</i> que visa simplificar a interpretação e ponderação dos resultados da ACV por meio do cálculo de pontuações únicas (eco indicadores), com aplicação principal em tomadas de decisão por designers de produtos.

<sup>6</sup> Mecanismo ambiental: Sistema de processos físicos, químicos e biológicos para uma dada categoria de impacto, vinculando os resultados da análise do inventário do ciclo de vida aos indicadores de categoria e aos pontos finais dos indicadores da categoria.

**Continuação do Quadro 7 - Caracterização dos principais métodos de Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida utilizados no mundo**

MÉTODO	DESCRIÇÃO
<i>Ecological Scarcity</i>	Desenvolvido na Suíça considerando seus desenvolvimentos acerca dos efeitos ambientais, bem como legislação e metas ambientais europeias, o método tem como base a “distância do alvo” ao invés de uma avaliação de impacto orientada ao dano.
EDIP ( <i>Environmental Design of Industrial Products</i> )	O método desenvolvido na Dinamarca constitui-se como <i>midpoint</i> , criado para apoiar análises ambientais durante o desenvolvimento de produtos industriais e fornecer fatores de caracterização espacialmente diferenciados.
EPS 2000 ( <i>Environmental Priority Strategies in product development</i> )	Método de avaliação sueco <i>endpoint</i> criado para ajudar designers e desenvolvedores de produtos durante a escolha entre dois conceitos de produto e os indicadores de categoria são escolhidos para tal fim.
Impact 2002+ ( <i>Impact Assessment of Chemical Toxics</i> )	Método suíço que propõe implementação de avaliação combinada <i>midpoint/endpoint</i> , ligando todos os tipos de resultados do inventário através de 18 categorias. Tem escopo de aplicação válido para a Europa.
LIME ( <i>Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modelling</i> )	Lançado em 2003 pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Industrial Avançada (AIST) e Comitê de Estudo de Avaliação de Impacto do Projeto ACV japonês, visando quantificar os impactos ambientais associados às cargas ambientais no Japão com maior precisão possível e maior grau de transparência.
LUCAS ( <i>LCIA method Used for a Canadian-Specific context</i> )	Desenvolvido na Escola Politécnica de Montreal, no Canadá, objetiva fornecer metodologia adaptada ao contexto canadense e segue recomendações da SETAC durante as escolhas dos requisitos para adaptação de modelos de caracterização de métodos já existentes.

**Continuação do Quadro 7 - Caracterização dos principais métodos de Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida utilizados no mundo**

MÉTODO	DESCRIÇÃO
MEEuP ( <i>Methodology study for Eco-design of Energy-using products</i> )	Desenvolvido em nome da Comissão Europeia para avaliar quais e em que medida diversos produtos consumidores de energia cumprem determinados critérios que os tornam elegíveis para rotulagem.
ReCiPe	Continuação dos métodos Eco-indicator 99 e CML 2000 que integra e harmoniza as abordagens <i>midpoint</i> e <i>endpoint</i> em uma estrutura comum e consistente.
TRACI ( <i>Tool for the Reduction and Assessment</i> )	Método de avaliação do impacto elaborado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA) <i>midpoint</i> que considera as condições ambientais dos Estados Unidos, como um todo ou por estados.
USEtox	Método com nível de avaliação <i>midpoint</i> projetado para descrever destino, exposição e efeitos de produtos químicos, fornecendo fatores de caracterização recomendados para a toxicidade humana e ecotoxicidade de água doce na avaliação de impacto do ciclo de vida. São determinados, no método, fatores para impactos cancerígenos, não cancerígenos e impactos totais.
IMPACT World+	Desenvolvido diante da necessidade de avaliação de impacto regionalizada cobrindo todas as regiões do mundo, com modelos de caracterização atualizados dos existentes nos métodos <i>Impact 2002+</i> , EDIP e LUCAS, o que resultou em fatores de caracterização para diferentes regiões geográficas.

**Adaptado de CRESPO MENDES; BUENO; OMETTO, 2013**

É notório que os métodos apresentados são desenvolvidos em sua maioria em países europeus e em alguns casos norte-americanos, o que

aproxima seus processos à realidade destes locais e demonstra o caráter subjetivo da Avaliação do Ciclo de Vida em termos de variabilidade processual, ainda que possua fases-guia norteadas pela normalização, e, mais ainda, influência do panorama regional de coleta e tratamento de dados.

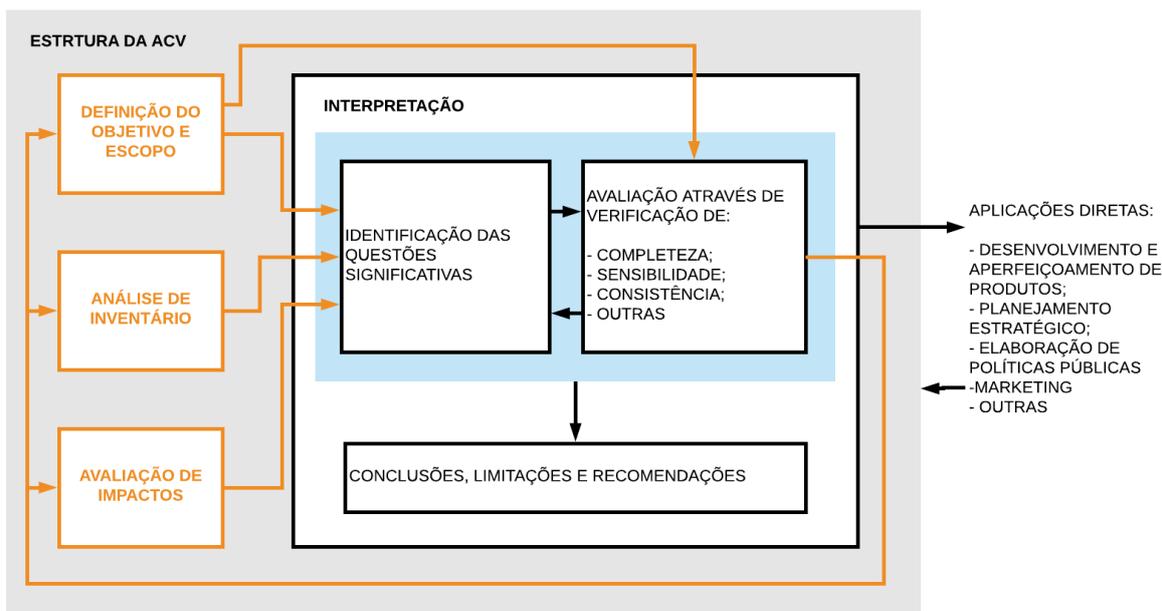
#### **2.2.4. FASE 4 - INTERPRETAÇÃO**

A interpretação constitui-se da fase da ACV, conforme a NBR ISO 14040, 2009, na qual as constatações da análise de inventário ou da avaliação de impacto, ou, em muitos casos, de ambas as fases, são combinadas consistentemente com o objetivo e escopo definidos para se obter conclusões acerca do estudo realizado, avaliações de suas limitações e pontos corretos, e produza recomendações para outros estudos semelhantes ou mesmo para o refazimento do estudo em questão de forma mais assertiva. (ABNT, 2009b)

O refinamento dos requisitos de estudo dado o tipo de sua aplicação cria aumento do grau de complexidade e detalhamento das informações, e, conseqüentemente aumento dos custos de elaboração do referido estudo de ACV. Em outras palavras, “a seleção dos graus de complexidade e de esforço do estudo implica o estabelecimento de uma série de critérios que poderão afetar significativamente os resultados finais”. (CHEHEBE, 1998).

Desta forma, a fase de interpretação torna-se de inerente necessidade do ponto de vista de validar o objetivo e escopo iniciais frente às dificuldades de implementação dos critérios necessários à obtenção dos resultados, e a própria validade de tais resultados, traduzida na confiabilidade em comparação à qualidade de dados inventariados e aplicabilidade dos métodos de avaliação de impactos ao caso específico estudado.

Retomando a Figura 2, que demonstra a estrutura de fases da Avaliação do Ciclo de Via, a fase de Interpretação pode ter suas características e processos demonstrados através do fluxograma a seguir.



**Figura 6 - Etapas da fase de Interpretação do Ciclo de Vida**

**Adaptado de ABNT, 2014**

Inicialmente, a fase de Interpretação deve identificar as questões ambientais significativas do processo. A identificação leva em conta três aspectos, conforme Chehebe, 1998:

- “1 – Estruturação das informações provenientes do inventário.
- 2 – Identificação das questões ambientais relevantes para o estudo;
- 3 – Determinação das emissões ambientais do sistema de produto”

Em seguida, com a identificação dos dados, faz-se a avaliação dos aspectos importantes dos mesmos quanto à: completeza, sensibilidade e consistência, dentre outras verificações.

Conforme discorre texto da NBR ISO 14044, 2014, a completeza consiste na identificação da disponibilidade de todas as informações relevantes e dados necessários à interpretação, bem como da verificação se estes encontram-se completos. (ABNT, 2014b)

A norma ainda determina que a verificação de sensibilidade se dá pela avaliação da confiabilidade dos resultados finais e conclusões, determinando a

influência das incertezas, métodos de alocação e cálculos dos resultados e indicadores nos mesmos.

Por fim, a verificação de consistência é dada pela comparação dos dados, resultados e métodos utilizados com o objetivo e escopo definidos, verificando sua validade perante os mesmos.

A partir do exposto, o processo é finalizado com a obtenção de conclusões a respeito do estudo, identificação das limitações ao longo da elaboração e recomendações.

### **2.3. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA COM A UTILIZAÇÃO DE SOFTWARES: OPENLCA**

O OpenLCA® é um *software* para aplicação do Ciclo de Vida criado no ano de 2006 a partir da definição de três pilares: desenhar e construir uma estrutura rápida, confiável e de alta performance para modelagem do ciclo de vida, para modelos simplificados e complexos; criar uma comunidade contribuinte de programação e criar módulos para a estrutura permitindo ao usuário criar seus próprios módulos. (OPENLCA, [s.d.])

O programa, atualmente em sua versão 1.9, possui compatibilidade com diversos bancos de dados de inventário do ciclo de vida, gratuitos e pagos, tais como Ecoinvent, Environmental Footprints, Impact World+, GaBi, entre outras, em suas versões mais atualizadas, os quais podem ser obtidos pelo website OpenLCA Nexus, desenvolvido como repositório online de dados de ACV. (OPENLCA, [s.d.])

A base de dados *Ecoinvent* conta com mais de 10 mil processos, segundo site do fabricante, a partir de instituições suíças que atualizam e integram outras bases de dados de inventário do ciclo de vida.

Além do exposto, o programa é compatível ainda com diferentes métodos de Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida, alguns dos quais mencionados anteriormente pelo quadro 7: *CML*, *EPS 2000*, *Impact 2002+*, *ReCiPe Midpoint*, entre outros.

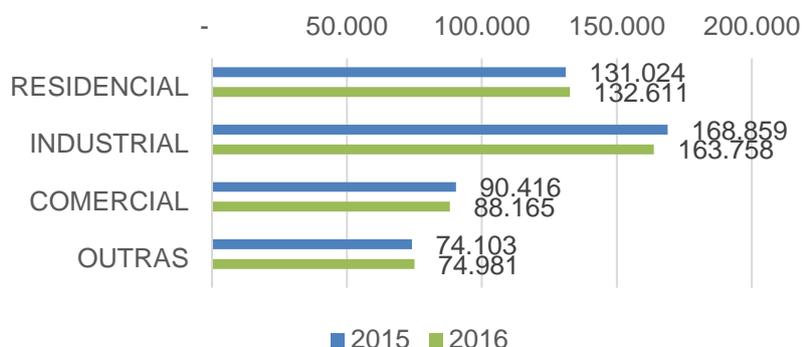
### 3. SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA PARA USO RESIDENCIAL

As edificações residenciais possuem diversas utilidades necessárias a seu funcionamento, as quais têm variabilidade devido a fatores distintos, que podem ser devido à localização geográfica, disponibilidade de recursos, com relação ao perfil de uso e ao usuário, considerando, neste ponto, seu poder de consumo, e, por fim, considerando aspectos culturais inerentes ao local onde é desenvolvida e construída.

#### 3.1. PANORAMA NACIONAL

Muitos dos sistemas necessários ao cumprimento da função das edificações residenciais e manutenção do desempenho de seu uso estão relacionados ao consumo energético, tais quais: aquecimento de água, refrigeração, iluminação e força para utilização de aparelhos, entre outros.

As residências são responsáveis por grande parte do consumo energético da matriz elétrica brasileira, conforme demonstrados pela figura a seguir.



CLASSE	2015		2016		VARIACÃO (%)
	(Gwh)	%	(Gwh)	%	
RESIDENCIAL	131.024	28,2%	132.611	28,9%	1,2
INDUSTRIAL	168.859	36,4%	163.758	35,6%	-3
COMERCIAL	90.416	19,5%	88.165	19,2%	-2,5
OUTRAS	74.103	16,0%	74.981	16,3%	1,2
TOTAL	464.401		459.515		-1,1

**Figura 7: Matriz de consumo de energia elétrica por usuário final no Brasil.**

**Adaptado de EPE, 2017**

Pela figura, nota-se que o consumo residencial foi responsável por cerca de 30% do consumo energético elétrico nos anos de 2015 e 2016, e que houve variação crescente do consumo neste perfil de usuário (+1,2%), ainda que nos setores industrial e comercial houvesse decréscimo de consumo de energia, o que evidencia a projeção de crescimento populacional e de demanda residencial ao longo dos anos, ainda que o país apresentasse crise de crescimento de PIB neste período.

Jannuzi e Schipper, 1991, demonstraram em estudo que aproximadamente 70% do consumo residencial de energia elétrica era inferior a 150 kWh/mês, o que equivalia, à época, a 35% da demanda total de energia do setor residencial. Apontou-se ainda que o aquecimento de água e a refrigeração tinham a maior participação na demanda residencial de energia e que tal demanda crescia numa taxa maior que a renda média, o que evidenciava saturação e futuro *déficit* de produção em relação ao consumo.

Além do exposto, historicamente houve um crescimento da aquisição de bens duráveis pela população, o que se refletiu em mais demanda energética, conforme ainda afirmam os autores:

“Observou-se um crescimento acelerado na aquisição de bens duráveis como a geladeira, e no consumo residencial de energia entre exemplo, o estoque de refrigeradores aumentou de 3 milhões para 20 milhões de unidades, de 1960 a 1985. Em 1991 o consumo residencial de eletricidade representava 20,0% da demanda um crescimento de 7,5% no consumo de energia e um crescimento de 6,8% no número de residências.” (JANNUZZI; SCHIPPER, 1991)

O aquecimento de água para uso domiciliar é uma necessidade inerente às edificações, e presente, atualmente, em cem por cento dos projetos de edificações residenciais, sejam estas uni ou multi familiares.

A respeito, Botelho e Ribeiro Jr., 2011, definem os sistemas hidráulicos de água quente:

“Chamam-se instalações prediais de água quente o conjunto de equipamentos, fontes energéticas e materiais que permitem ao usuário das instalações prediais a obtenção de água artificialmente aquecida, ou seja, com água chegando a temperaturas de uso próximas a 50°C, às vezes próximas de 70°C ou mesmo 80°C.”

Conforme cita a NBR 7198, que trata do “Projeto e Execução de Instalações Prediais de Água Quente”, os requisitos de projeto e execução de tais instalações, em termos gerais, condicionam-se a:

- a) Garantir o fornecimento de água de forma contínua, em quantidade suficiente e temperatura controlável, com segurança, aos usuários, com as pressões e velocidades compatíveis com o perfeito funcionamento dos aparelhos sanitários e das tubulações;
- b) preservar a potabilidade da água;
- c) proporcionar o nível de conforto adequado aos usuários;
- d) racionalizar o consumo de energia.”

(ABNT, 1993)

Para aquecer o volume de água para a demanda de utilização diária, algumas fontes energéticas são comumente utilizadas. Historicamente, o Brasil, devido à sua matriz energética galgada em hidroeletricidade e da disponibilidade abundante deste recurso, utiliza o aquecimento de água através de energia elétrica.

A tabela a seguir demonstra o perfil de consumo das edificações residenciais com relação às fontes energéticas utilizadas para aquecimento de água a partir de pesquisa do IBGE publicada no final da década de 2000.

**Tabela 1: Proporção de domicílios particulares permanentes com água encanada, por fonte de aquecimento, segundo a situação do domicílio e as Grandes Regiões.**

GRANDES REGIÕES E UNIDADES DA FEDERAÇÃO	PROPORÇÃO DE DOMICÍLIOS PARTICULARES PERMANENTES COM ÁGUA ENCANADA, POR FONTE DE AQUECIMENTO DE ÁGUA (%)					
	ELETRICIDADE	GÁS	ENERGIA SOLAR	LENHA / CARVÃO	OUTRA FORMA	NÃO TEM
BRASIL	70,9	4,2	0,6	1,2	0,1	24,7
URBANA	72,8	4,4	0,6	0,7	0,1	23,1
RURAL	56,8	3,1	0,5	5,2	0,1	37,3
<b>REGIÕES</b>						
NORTE	11,7	1,8	0,2	0,1	0,3	86
NORDESTE	17,7	6,6	0,1	1,9	0,2	74,9
SUDESTE	92,9	3,4	0,9	1,3	0,1	3,3
SUL	95,5	5,5	0,5	0,9	0,1	0,9
CENTRO-OESTE	86,1	1,0	0,9	0,4	0,2	12,1

*Adaptado de IBGE, 2008*

Conforme demonstrado, o Brasil ainda se configura como um país majoritariamente dominado pelo consumo elétrico como fonte energética para aquecimento de água residencial. A tabela demonstra ainda o caráter heterogêneo das grandes regiões: as regiões norte e nordeste tem em sua maioria residências particulares sem qualquer aquecimento formal de água, enquanto que as regiões com maior IDH possuem mais de 80% de suas residências aquecidos por chuveiro elétrico.

Outro fator interessante é a presença, ainda, de locais, principalmente rurais, que possuem aquecimento de água a lenha ou carvão.

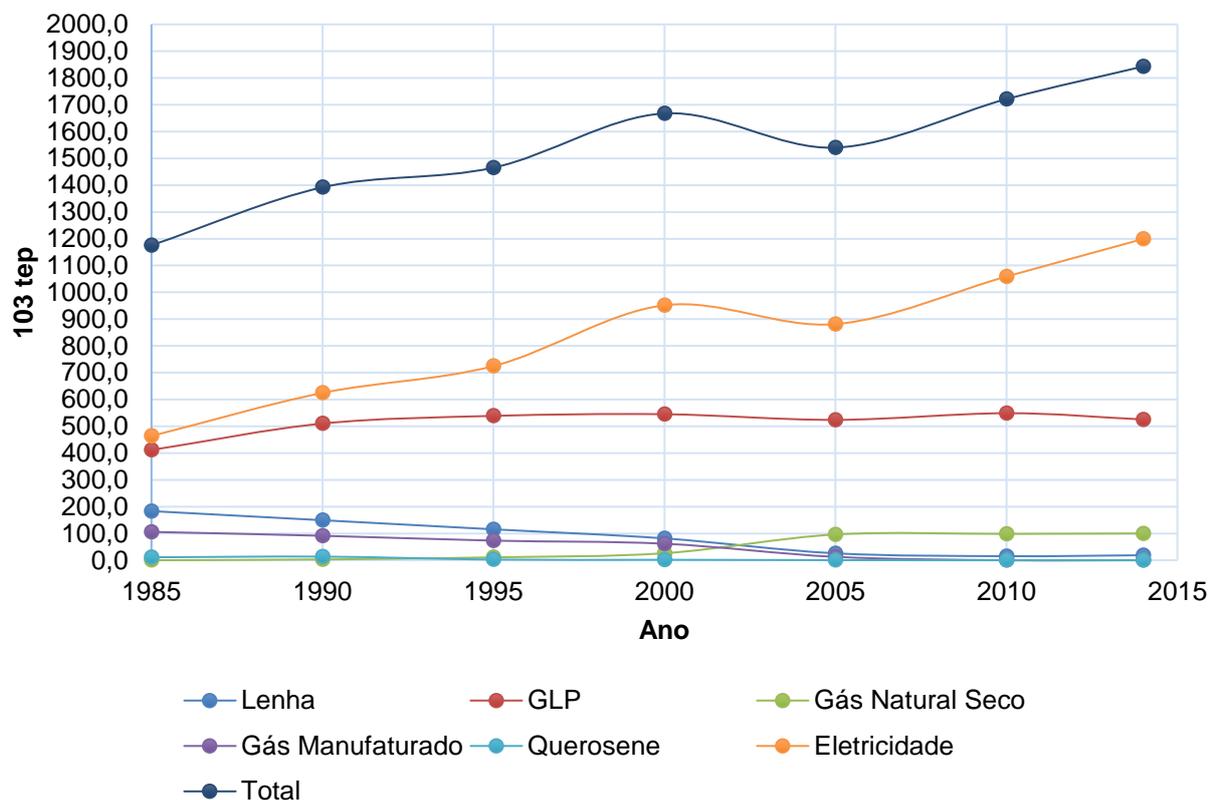
No estado do Rio de Janeiro, a evolução do consumo final de energia do setor residencial desde meados da década de 1980, por fonte energética relacionada em *tep* (tonelada equivalente de petróleo), pode ser demonstrada pela figura da próxima página, na qual é evidenciado o caráter predominante e ainda crescente da demanda elétrica em detrimento das demais.

Os dados apresentados pela figura demonstram que as fontes representadas por eletricidade, Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) e gás natural seco (GN) sofreram acréscimo acumulado entre 1985 e 2015, contudo o perfil de consumo geral continua possuindo dominância da fonte elétrica, a qual possui, dentre as apresentadas, o maior índice de aumento percentual ao longo dos anos demonstrados.

A figura demonstra ainda que, dentre as fontes energéticas com crescimento, representadas pelo GLP e GN, houve decréscimo da utilização de GLP em função da guinada na indústria de produção e distribuição de GN no país a partir do ano 2000, ainda que em números absolutos ambos tenham crescido em consumo no período demonstrado.

Outro fator interessante consiste no decréscimo da utilização tais como lenha e gás manufacturado, bem como a participação praticamente nula do querosene na composição de consumo, evidenciando a mudança de perfil, aumento de poder aquisitivo da população, urbanização crescente das ocupações humanas e aumento da infraestrutura de atendimento de redes de eletricidade, por exemplo, fazendo com que o acesso a estes fosse maximizado em detrimento de fontes arcaicas de energia.

A urbanização no estado é explícita, por exemplo, quando se verifica que os pouco mais de 17 milhões de pessoas estimados em 2018, conforme dados do IBGE, se dividem em uma concentração urbana de 96,7% enquanto que a rural representa apenas 3,3% do montante, de acordo com dados do último censo, realizado em 2010. (IBGE, 2019)



FONTE DE ENERGIA	ANO						
	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2014
Lenha	183,3	149,4	115,4	81,5	25,8	15,2	18,6
GLP (Gás Liquefeito de Petróleo)	411,5	510,1	538,7	545,0	523,9	548,8	525,4
Gas Natural Seco	0,0	3,1	10,8	26,2	96,1	98,3	99,9
Gás Manufacturado	105,9	91,3	73,2	61,7	12,6	0,0	0,0
Querosene	11,0	13,5	2,5	1,7	0,4	0,0	0,0
Eletricidade	463,8	624,5	724,6	951,6	881,2	1058,9	1199,1
Total	1175,5	1391,9	1465,2	1667,7	1540,0	1721,2	1843,0

**Figura 8: Evolução do consumo final de energia no setor residencial por fonte no Rio de Janeiro (10<sup>3</sup> tep)**

*Adaptado de COPPE, 2016*

Um dos principais motivos da utilização dos chuveiros elétricos como fonte energética para aquecimento para banho consiste no baixo custo de aquisição e instalação. Sobre o assunto, Tomé, 2014, descreve:

“O chuveiro elétrico é um equipamento que apresenta baixo custo de aquisição (a partir de algumas dezenas de Reais), simplicidade na instalação, além de baixa complexidade tanto para operação quanto para manutenção. No entanto, o baixo custo de aquisição do chuveiro resulta em um alto custo de utilização, pois é um equipamento de alta potência. A norma ABNT que padroniza os chuveiros elétricos estabelece limites de potência entre 2200W e 11000W. Valores típicos de produtos comerciais oscilam entre 2500W e 5600W, mas podem chegar a até 10500W em alguns casos”

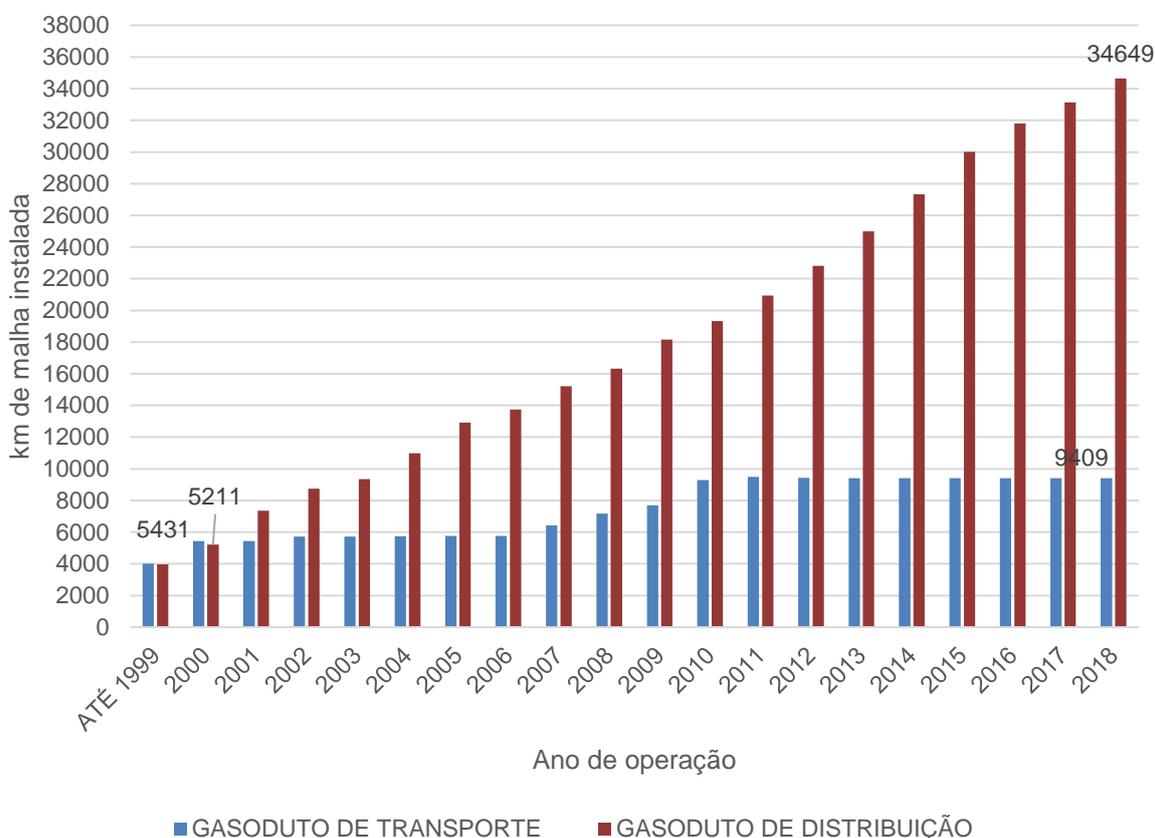
Por outro ângulo, fontes de energia alternativas têm sido difundidas. O aquecimento a gás configura-se como segundo maior no *ranking* de fornecimento energético para aquecimento de água, ainda que haja grande discrepância entre este e o aquecimento via eletricidade, seguido do aquecimento via coletores solares.

No espectro de combustível para aquecimento domiciliar, o gás pode ser fornecido sob as formas de Gás Natural (GN) ou Gás Liquefeito de Petróleo (GLP).

A Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) define o gás natural como “substância composta por hidrocarbonetos que permanecem em estado gasoso nas condições atmosféricas normais”. A agência ainda discorre sobre os usos principais do mesmo no mercado brasileiro, representados majoritariamente pela geração de energia termelétrica e segmentos industriais; e ainda se distribui entre diversos setores de consumo com função energética ou não, como “matéria-prima nas indústrias petroquímica (plásticos, tintas, fibras sintéticas e borracha) e de fertilizantes (ureia, amônia e seus derivados), veicular, comércio, serviços, domicílios etc.” (ANP, 2019).

O gás natural produzido associado à extração de petróleo é transportado via malha de gasodutos de transporte e distribuição, sendo esta última, responsabilidade das concessionárias regionais de distribuição.

A figura a seguir demonstra a evolução da infraestrutura de transporte e distribuição de GN ao longo dos anos, evidenciando avanço significativo na demanda e produção do setor, bem como nos investimentos em sua disseminação e distribuição para o consumo.

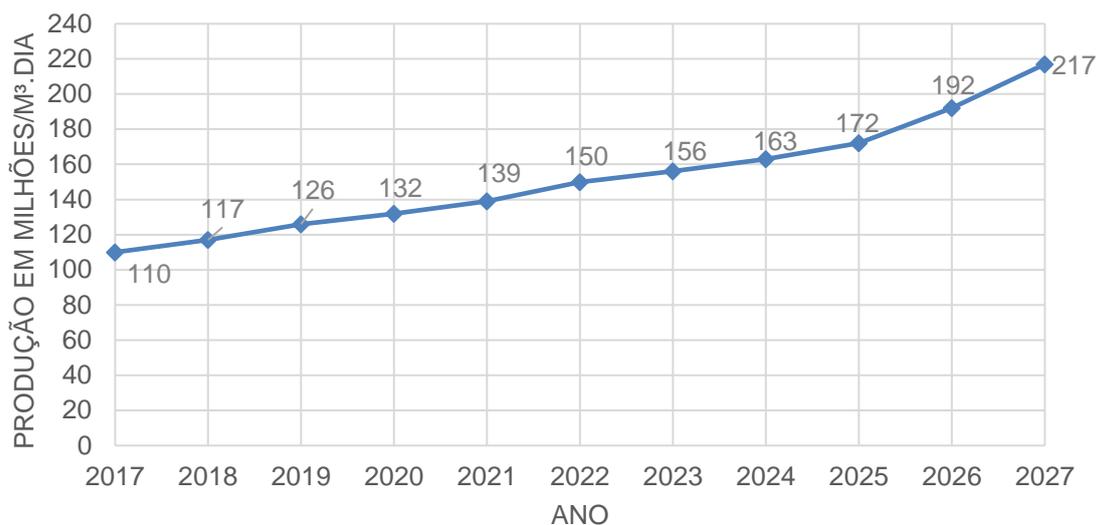


**Figura 9: Evolução das Malhas de Transporte e Distribuição de Gás Natural no Brasil**

**Adaptado de MME, 2018**

Outro fator de interesse consiste na projeção dada para o decênio 2017-2027 para a produção de gás natural no país, publicada pelo EPE (, a qual é reproduzida a seguir.

Pela figura em questão, nota-se a tendência de aumento da produção ao longo da década, o que demonstra, combinado à evolução da infraestrutura de distribuição, aumento da oferta da fonte energética.



**Figura 10: Previsão de produção bruta de gás natural nacional decênio 2017-2027**

**Adaptado de EPE, 2018**

No Rio de Janeiro, a empresa concessionária responsável pela infraestrutura de distribuição, abastecimento dos consumidores e tarifação é a *Naturgy* (Antiga Ceg Rio), a qual atende atualmente a 36 municípios do estado com rede de gás canalizado ou ponto a ponto, conforme dados do último relatório de demonstrações financeiras publicado. (PRICEWATERHOUSECOOPERS, 2018)

O informe anual de 2017 publicado pela empresa demonstra, ainda, que há aumento no número de clientes totais consumidores de gás numa taxa média anual de aproximadamente 3,7%, evidenciando o crescimento da utilização. (CEGRIO, 2018)

Outra alternativa para abastecimento dos sistemas de água quente prediais consiste no Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), “composto da mistura de gases hidrocarbonetos, principalmente Propano (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) e Butano (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), que apresentam grande aplicabilidade como combustível devido às suas características de alto poder calorífico, excelente qualidade de queima, fácil manuseio, baixo impacto ambiental, facilidade de armazenamento e transporte.” (LIQUIGÁS, 2019b)

O GLP é comumente utilizado sob a forma de reservatórios do tipo botijões, encontrados em diferentes capacidades dependendo da demanda do usuário final.

Os reservatórios podem ser locados próximos ao ponto de utilização, em caso por exemplo de cocção residencial em edificações unifamiliares, ou em central projetada, analogamente a um reservatório geral de água.

O quadro a seguir demonstra os tipos de recipientes comumente existentes no mercado e sua utilização final, a partir catálogo de grandes fornecedores.

**Quadro 8: Tipos de recipientes de GLP comercializados no Brasil**

TIPO	DESCRIÇÃO	UTILIZAÇÃO FINAL
<b>CONSUMIDORES CONVENCIONAIS (Adaptado de ULTRAGAZ, 2019)</b>		
P2	Portátil, 2kg	Cocção em fogareiros de uma ou duas bocas, uso comercial de pequeno porte
P5	Portátil, 5kg	Cocção residencial, fogões de duas bocas ou fogareiros
P13	13kg	Botijão residencial padrão, amplamente utilizado para cocção doméstica no país
P20	20kg, gás para empilhadeiras	Utilizado horizontalmente, permitido para combustível veicular
P45	45kg	Utilizado em larga escala para consumidores com maior demanda, como residenciais multifamiliares, comércio, cozinhas industriais para cocção e aquecimento de água
P90	90kg	Utilizado para fins industriais, tem caído em desuso, sendo substituído por sistemas a granel e tanques estacionários – utilizado para cocção e aquecimento de água

**Continuação de Quadro 8: Tipos de recipientes de GLP comercializados no Brasil**

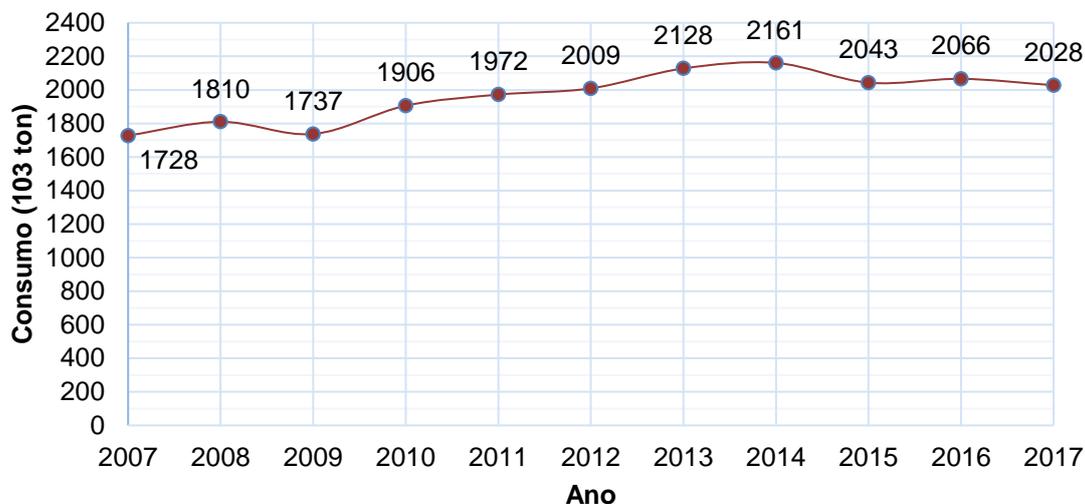
TIPO	DESCRIÇÃO	UTILIZAÇÃO FINAL
<b>CONSUMIDORES ESPECIAIS (Adaptado de LIQUIGÁS, 2019a)</b>		
B125, B190, B500, B1000, B2000, B5000	Denominado pequeno granel, para instalações de pequeno e médio porte	Utilizado para consumidores de maior demanda que os convencionais, majoritariamente comerciais e industriais de pequeno porte
B20000 a B60000	Grande granel	Consumidores industriais de grande porte

A respeito do consumo do GLP no país, o relatório de Panorama do Setor de GLP de 2017 aponta que “em 2014 bateu-se o recorde histórico de volume de GLP vendido, alcançando a marca de 7,421 milhões de toneladas, no ano de 2015 o consumo teve leve retraída sendo consumidas 7,308 milhões de toneladas, no entanto em 2016 o consumo brasileiro de GLP voltou a crescer, chegando a 7,396 toneladas.” (SINDIGAS, 2017)

Retomando o quadro 9, pode-se aferir que os modelos utilizados comumente para reserva energética de sistemas de água quente consiste em botijões com capacidades a partir de 45kg. A figura a seguir demonstra a evolução do mercado destes botijões, ao longo dos anos.

Nota-se certa constância com relação ao consumo anual, com leve tendência de aumento, muito devido ao fator deficitário da produção com relação à demanda, e à entrada e investimentos no setor de gás natural no país, o qual, para o consumidor final, se configura opção mais barata em termos de instalação e investimento inicial e manutenção dos sistemas.

**Figura 11: Evolução do Consumo de GLP a granel, P20 e P45 no Brasil: 2007-2017**



**Adaptado de SINDIGAS, 2019**

Em uma terceira abordagem, interessante ao estudo, encontra-se o aquecimento via fonte energética direta termo solar. O sistema utiliza coletores instalados em local de insolação para captação de energia térmica transmitida à água circulada através deles e conduzida por diferença de densidade ou sistema de circulação forçada por bombas para reservatório térmico e/ou consumo direto.

O sistema de aquecimento em questão, por ser direto, depende de fatores externos para desempenho, conforme demonstram Botelho e Ribeiro Jr, 2011, que relatam que os sistemas termo solares “em horas ou épocas de pouca insolação exigem o uso associado de outro sistema de aquecimento. Nos dias de boa insolação, costuma atender bem à demanda, não precisando do trabalho complementar de outra fonte energética”.

A respeito do histórico de utilização para aquecimento no país, Faria, 2010, relata:

“Historicamente o aquecedor solar foi considerado um complemento de luxo para a residência multifamiliar, cujo custo inviabilizava sua aplicação em habitações populares. Com o desenvolvimento tecnológico, vêm surgindo projetos possíveis de serem implantados, evitando desnecessárias adaptações ou reformas por parte do usuário final. Somado a isso algumas cidades brasileiras estão alterando seu código de obras e passando a exigir que instalações residenciais novas ou reformadas disponibilizem tubulações para aquecimento de água quente, além da opção da tubulação do tradicional chuveiro.”

Vale ressaltar que os sistemas solares podem ter sua finalidade a geração de energia térmica, no caso dos chamados SAS (Sistemas de Aquecimento Solar), ou geração elétrica, para consumo em outras utilizações, no caso dos sistemas fotovoltaicos.

A figura a seguir demonstra histórico da evolução do mercado de coletores solares no país para a década compreendida entre 2003 e 2014, com destaque para uma taxa de crescimento anual aproximadamente constante, em torno de 15%, e um acréscimo, entre 2004 e 2014, de aproximadamente 460% na área instalada de coletores solares.



**Figura 12: Evolução da produção de coletores solares**

**Adaptado do Relatório de Pesquisa Produção de Coletores Solares para Aquecimento de Água e Reservatórios Térmicos no Brasil (ABRAVA, 2015)**

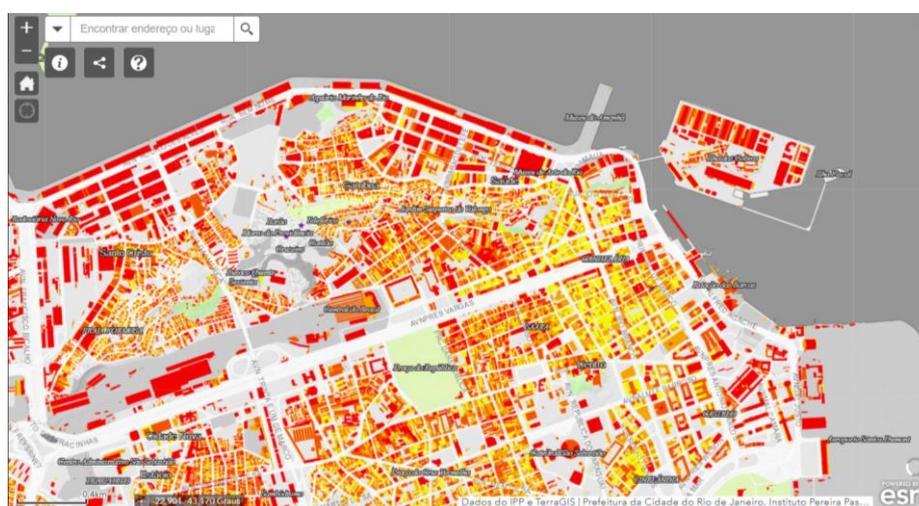
Além do exposto, em 2014, segundo o estudo realizado pela ABRAVA, 51% do mercado de coletores solares tinha destino uso residencial, enquanto a indústria correspondia com uso de apenas 17% do mercado.

Em consideração ao potencial de geração de energia térmica via aquecedores solares, a cidade do Rio de Janeiro foi utilizada como estudo de caso da penetração de longo prazo da tecnologia fotovoltaica na matriz energética do Brasil pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética), fator que

culminou, com incentivo empresarial, na criação do Mapa Solar do Rio de Janeiro. O mapa em questão, disponível na *internet*, demonstra o potencial de geração de energia fotovoltaica nos telhados das edificações da cidade, como parte de política pública de incentivo à transformação da cidade num polo de referência energética nacional:

” O Mapa Solar do Rio de Janeiro foi produzido usando ferramentas de geoprocessamento que calculam a irradiação global incidente para os telhados das edificações da cidade do Rio de Janeiro considerando o sombreamento que edificações e demais obstáculos provocam em seu entorno. O cálculo foi feito para duas datas específicas, 22 de dezembro (solstício de verão) e 20 junho (solstício de inverno) de 2015, datas que, a princípio, registram a mais alta e mais baixa irradiação solar durante o ano, respectivamente.” (BRASIL; EPE; PREFEITURA, 2019)

A figura a seguir, recorte do mapa disponível, demonstra exemplo da avaliação da radiação nos telhados das edificações do centro e área portuária da cidade no solstício de verão, numa escala que vai de potencial fotovoltaico considerável a excelente. Os pontos não pertencentes à legenda não possuem potencial ou potencial pouco considerável.



#### Avaliação do potencial solar (verão)

Avaliação do potencial solar fotovoltaico (FV) no verão

- Excelente
- Muito bom
- Bom
- Considerável

**Figura 13: Recorte do Mapa Solar da cidade do Rio de Janeiro no solstício de verão - Centro e Região Portuária.**

**Adaptado de Mapa Solar do Rio de Janeiro, 2019**

Em outro aspecto, há um incentivo de políticas públicas no país para a disseminação dos sistemas de aquecimento solar no mercado de consumo energético para aquecimento de água, orientados pelo compromisso voluntário de redução de emissões dos gases do efeito estufa firmado pelo Brasil na Conferência-Quadro das Nações Unidas e firmado em 2009 pela Política Nacional sobre Mudança no Clima (PNMC), instituída pela Lei nº 12.187 (BRASIL, 2009). Nesta, o país se compromete a reduzir entre 36,1 e 38,9% as emissões até 2020.

Dentre as políticas de incentivo, destacou-se recentemente o Plano Estratégico Solar desenvolvido em 2009 com horizonte de 5 anos, com objetivo de “organizar a atuação das diferentes entidades, visando ao aumento da participação da fonte solar térmica de energia no país”.(DOLABELLA; ASSAD, 2012)

O plano em questão possui cinco linhas de ação, dentre as quais encontram-se as políticas públicas, representadas por três pilares:

O primeiro pilar consiste no Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), do Governo Federal, com apoio à segunda etapa do programa quanto à inserção de SAS nas habitações voltadas à população de baixa renda, compulsórios para edificações unifamiliares, conforme descrevem Dolabella e Assad, 2012.

O segundo pilar é relacionado a instrumentos legais de fomento (cidades solares), com atuação junto a órgãos municipais para acompanhar implementação de leis que incentivem a aplicação dos sistemas solares.

Por fim, o terceiro aspecto é relacionado a novas linhas de fomento e financiamento, com criação de subsídios para a aquisição de sistemas de aquecimento solar pela população de baixa renda, em virtude do maior custo inicial de implantação se comparado ao chuveiro elétrico; além de novas linhas de financiamento para mercado de habitação, comércio, pequenas e médias empresas.

No Rio de Janeiro, foi instituída a Política Estadual de Incentivo ao Uso de Energia Solar, através da promulgação da Lei nº 7122, de 2015.

Dentre os objetivos da política encontram-se:

- “- Aumentar a participação da energia solar na matriz energética do Estado; (...)
  - Estimular o uso de energia fotovoltaica em áreas urbanas e rurais; (...)
  - Estimular o uso de energia termossolar principalmente em unidades residenciais; (...)
  - Reduzir a demanda de energia elétrica em horários de picos de consumo; (...)”
- (JANEIRO, 2015)

É importante salientar que, apesar de promissor, o aquecimento via termo solar sofre forte influência de aspectos de sazonalidade, devendo, na prática, ser sempre complementado com outra fonte energética para garantir que a demanda energética de utilização seja sempre suprida, fator que vai de encontro ao desempenho ambiental deste arranjo.

Em conclusão ao exposto, tem-se claro o avanço do mercado de energia solar no país, tanto no que diz respeito à demanda quanto à produção, ainda levando em consideração o potencial de utilização desta energia, tendo por base os níveis de insolação apresentados, fator que, combinado às políticas públicas de incentivo, tais como as apresentadas em Belo Horizonte (considerada a capital solar do país devido à disseminação dos sistemas no local), demonstra que, apesar de ainda concentrar fatia pequena do mercado de aquecimento, se dirigido por um plano energético adequado, o SAS tende a ser alternativa viável à eletricidade para aquecimento.

### **3.2. DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E EXECUTIVAS DOS SISTEMAS PREDIAIS DE ÁGUA QUENTE**

O Sistema Predial de Água Quente com aquecimento de água para uso residencial, conforme relatado anteriormente, tem por base preceitos da NBR 7198 (ABNT, 1993), e pode ser considerado híbrido, no sentido em que a instalação necessita de uma fonte de água fria, além da instalação de água quente, e uma instalação de alimentação de energia com fontes variáveis para funcionamento, os quais possuem sua normatização específica.

Os sistemas alternativos à eletricidade para aquecimento de água utilizados no Brasil condensam-se majoritariamente em aquecimento a gás e aquecimento por via de coletores solares.

O aquecimento de água pode ser realizado segundo as seguintes configurações, conforme (MACINTYRE, 2010):

“Individual – quando o sistema alimenta um só aparelho. É o caso do aquecedor a gás localizado no banheiro ou na cozinha.

Central privado – quando o sistema alimenta vários aparelhos de uma só unidade. É o caso de uma residência (casa ou apartamento) onde existe um equipamento para produção de água quente, do qual partem os alimentadores para as peças de utilização nos banheiros, cozinha e áreas de serviço.

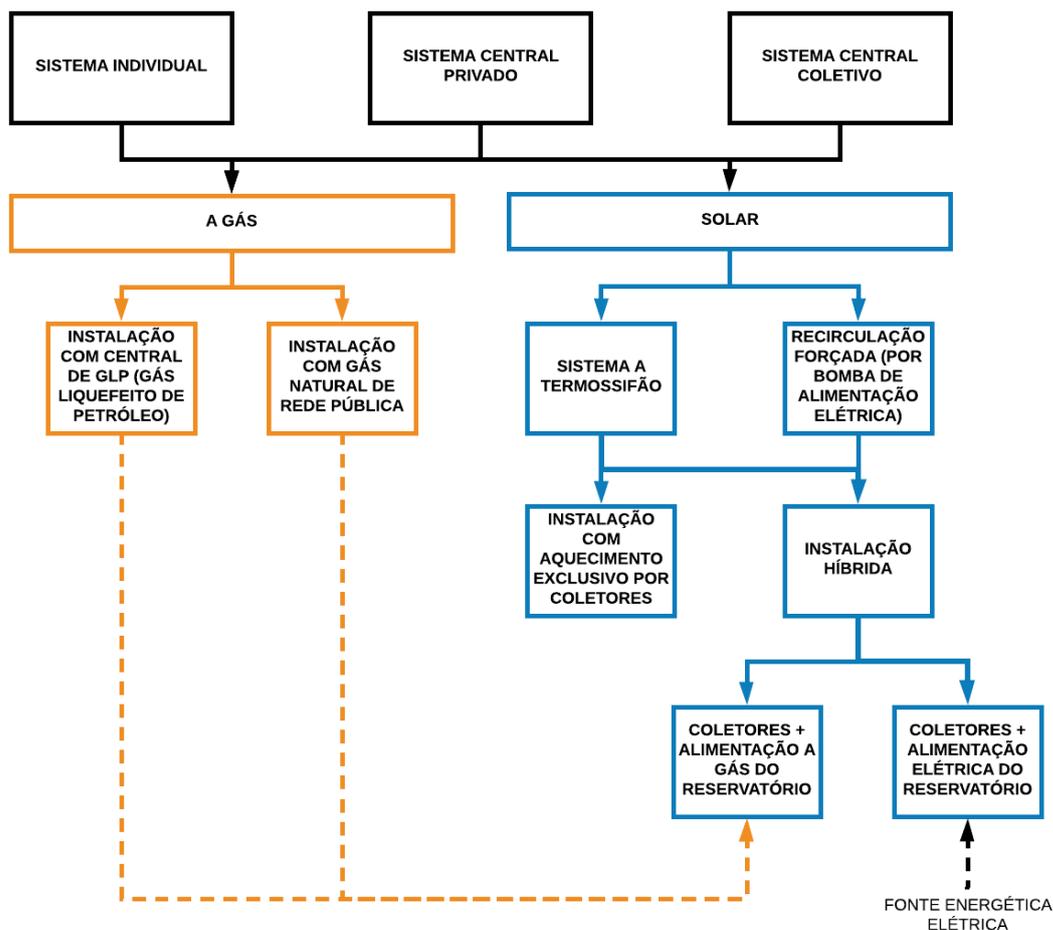
Central coletivo – Quando o sistema alimenta conjuntos de aparelhos de várias unidades (prédios de apartamentos, hospitais, hotéis, escolas, quartéis e outros.”

Segundo Veról, Vazquez e Miguez, 2019, a temperatura mínima de fornecimento da água quente depende do uso a que se destina. Nos pontos de consumo pode-se fazer dosagem da água aquecida com água fria através de misturadores, para se obter temperaturas variadas e mais amenas de acordo com as necessidades de conforto dos usuários. Para o uso doméstico, como banhos, a temperatura de utilização está em torno de 35°C.

Em suma, ambos os sistemas de aquecimento (solar ou a gás) podem ter configurações individuais ou centrais privados ou coletivos. Para cada caso, é possível que se tenha uma configuração que favoreça o local de instalação e suas limitações.

A figura a seguir demonstra resumo das possíveis configurações dos sistemas de aquecimento do caso em estudo, com fontes energéticas a gás ou via termo solar, descrevendo que ambos podem ter configurações individuais ou centrais privadas ou coletivas, e demonstrando a configuração de obtenção da energia necessária ao aquecimento, que pode ser via central combustível (GLP), via rede de concessionária (GN), por termo sifão (circulação de água por diferença de densidade) ou circulação forçada, ambas com troca direta de calor entre as placas e o fluido através de serpentinas.

Outro ponto a se salientar, conforme relatado anteriormente, é a existência da necessidade de utilização do sistema híbrido, com fornecimento de energia para aquecimento por via solar combinada com fonte elétrica ou gás, devido à sazonalidade da oferta de radiação solar.



**Figura 14: Diagrama de possibilidades de fonte de aquecimento a gás e solar segundo a configuração do sistema**

É notório que, qualitativamente, a tomada de decisão sobre a utilização de um ou outro sistema passa pela necessidade local, demanda de água aquecida em relação ao custo de implantação (mais elevado que o custo de implantação dos chuveiros elétricos), disponibilidade de redes locais públicas e/ou insolação, posicionamento do sistema, entre outros.

Dentre estes fatores, o texto apresentado por Benedicto, 2009 condensa e organiza alguns requisitos de desempenho do sistema de aquecimento de água necessários ao usuário, em consonância com padrões apresentados pela NBR 15575-6 (ABNT, 2013), que trata de requisitos de desempenho para sistemas hidráulicos de edificações habitacionais, dentre os quais se destaca a adequação ambiental, traduzida pelo uso racional da água e uso racional da energia.

Com relação ao uso racional da água, o autor cita que o sistema deve ser projetado de modo a tornar mais eficiente o uso de água, reduzindo a demanda da rede pública e controle de vazão de água em sistemas com pressão excessiva nos pontos de utilização.

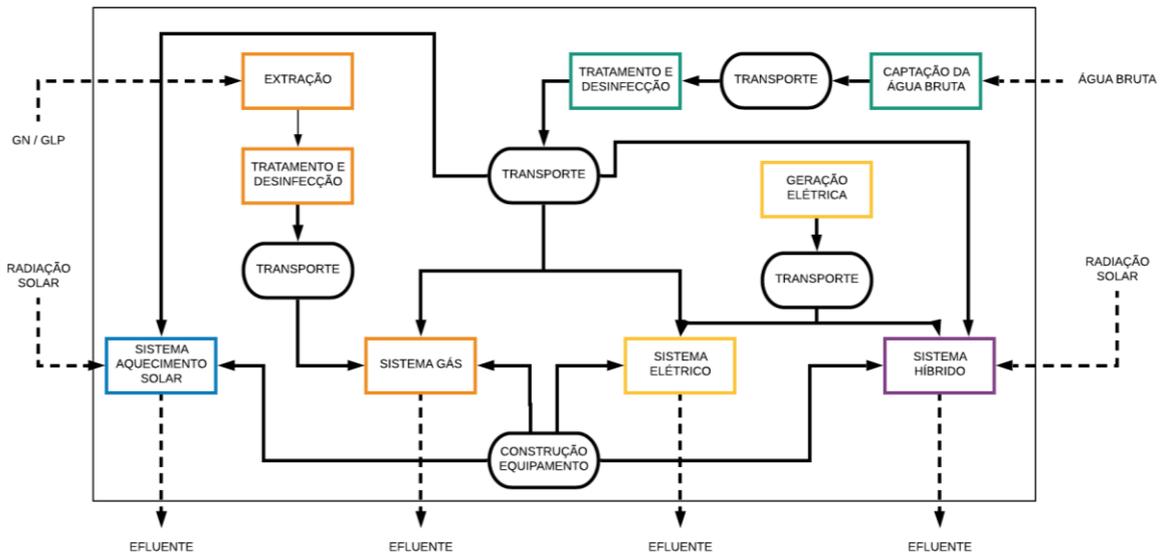
No que concerne ao uso racional de energia, o Sistema Predial de Água Quente deve ser projetado de modo a racionalizar o uso de energia, devendo fornecer água à temperatura adequada ao uso e funcionamento de forma a minimizar o consumo energético, utilizando, por exemplo, isolamento térmico de tubulações quando necessário.

Do ponto de vista do ciclo de vida desses sistemas, as entradas de água e energia podem ser determinadas segundo os processos básicos de extração, transporte, uso e descarte, conforme a figura a seguir, em que se demonstram as fases da vida destes sistemas do berço à utilização.

Quando avaliado sob um enfoque holístico e que englobe não só o consumo direto de recursos como também a energia incorporada, o banho aquecido engloba processos como: extração, tratamento e transporte de água potável, aquecimento da mesma, desinfecção proporcionada pelo banho e coleta, tratamento, transporte e deposição final dos despejos de esgotamento, considerando, neste processo, o possível reuso das águas servidas para outros fins.

A figura a seguir demonstra de forma simplificada a variabilidade dos sistemas de produção de água quente, levando em consideração efeitos de extração e obtenção de fontes energéticas e água, tratamento, transporte, construção e outros, até a liberação de efluentes pelos referidos sistemas.

Ainda que não seja objeto direto de aplicação deste estudo, demonstra-se, no fluxograma, a possibilidade e existência de fonte elétrica, a fim de ilustrar a interdependência das tipologias dos sistemas e as possibilidades de combinação, muitas vezes necessárias, de fontes de energia.



**Figura 15: Esquema simplificado dos sistemas de produção de água aquecida para banho. Adaptado de KULAY; VIÑAS; HESPANHOL, 2015**

A fim de embasar as definições apresentadas e descrever tecnicamente os sistemas para a aplicação, é demonstrado, a seguir, para os sistemas de aquecimento com fonte principal a gás e fonte principal solar, como são dadas as configurações de projeto e instalação, normas relacionadas, bem como descrição prática dos mesmos.

### 3.2.1. NORMALIZAÇÃO

Com relação aos sistemas de aquecimento, existem diversas normas regulamentadoras para projeto, execução e componentes, a maioria das quais de abrangência nacional.

A regulamentação das instalações se dá em diversos níveis, indo desde a definição de critérios de desempenho dos materiais tais como tubulações, reservatórios, isolamento, acessórios e demais itens de composição, bem como dos requisitos das instalações propriamente ditas, projeto, instalação, manutenção, entre outros.

Desta forma, o quadro a seguir relaciona algumas normas pertinentes, principalmente aos requisitos de desenvolvimento dos projetos das instalações prediais de água quente e aquecimento de água, dividindo-as em três grupos principais: normas gerais de Sistemas Prediais de Água Quente, normas específicas para SPAQ com Aquecimento a Gás e normas específicas para SPAQ com Aquecimento Solar.

Com relação aos documentos listados, é importante descrever que normas relacionadas aos materiais componentes dos sistemas e seus requisitos não são descritas, uma vez que se julga tratar de procedimentos inerentes à fabricação e instalação propriamente dita destes materiais, os quais não são o enfoque principal do estudo.

Outro fator importante a se destacar é que, no caso dos documentos relacionados ao aquecimento solar, são relacionados apenas os inerentes aos sistemas diretos de aquecimento e não à geração de energia fotovoltaica por meio dos coletores.

Para as instalações de aquecimento a gás, é notório ainda a existência de normas desenvolvidas pelas concessionárias de fornecimento do combustível, e que tem impacto regional, mudando dependendo da localidade e concessionária. Desta forma, é listada a norma da concessionária do Rio de Janeiro, de interesse aos projetos aqui desenvolvidos.

Por fim, destaca-se que, para maiores informações acerca de normas relacionadas aos materiais componentes, normas necessárias à execução de sistemas acessórios, tais como abastecimento de água fria e abastecimento elétrico estão listadas nas referências dos documentos destacados no quadro, para eventual necessidade de consulta.

**Quadro 9: Relação de normas inerentes aos projetos e instalações de SPAQ's com Instalações de Gás e Instalações de Aquecimento Solar**

ITEM	DATA	TÍTULO	DESCRIÇÃO
<b>A – NORMAS GERAIS PARA SISTEMAS PREDIAIS DE ÁGUA QUENTE</b>			
ABNT NBR 7198	1993	Projeto e Execução de Instalações Prediais de Água Quente	Fixa as exigências técnicas mínimas quanto à higiene, à segurança, à economia e ao conforto dos usuários, pelas quais devem ser projetadas e executadas as instalações prediais de água quente.
<b>B – NORMAS ESPECÍFICAS PARA SPAQ COM AQUECIMENTO A GÁS</b>			
ABNT NBR 15526	2016	Redes de distribuição interna para gases combustíveis em instalações residenciais – Projeto e execução	Estabelece os requisitos mínimos exigíveis para o projeto e a execução de redes de distribuição interna para gases combustíveis em instalações residenciais que não excedam a pressão de operação de 150 kPa e que possam ser abastecidas tanto pela canalização de rua quanto por uma central de gás, sendo o gás conduzido até os pontos de utilização através de um sistema de tubulações.
ABNT NBR 15358	2017	Rede de distribuição interna para gás combustível em instalações de uso não residencial de até 400 kPa – Projeto e execução	Estabelece os requisitos mínimos exigíveis para o projeto e a execução de rede de distribuição interna para gás combustível em instalações de uso não residencial, tais como processos industriais e atividades comerciais, que não excedam a pressão de operação de 400 kPa.

**Continuação do Quadro 9: Relação de normas inerentes aos projetos e instalações de SPAQ's com Instalações de Gás e Instalações de Aquecimento Solar**

ITEM	DATA	TÍTULO	DESCRIÇÃO
ABNT NBR 13523	2019	Central de gás liquefeito de petróleo – GLP	Estabelece os requisitos mínimos para projeto, montagem, alteração, localização e segurança das centrais de gás liquefeito de petróleo (GLP), para instalações comerciais, residenciais, industriais.
ABNT NBR 14024	2018	Central de gás liquefeito de petróleo (GLP) – Sistema de abastecimento a granel – Requisitos e procedimento operacional	Estabelece os requisitos mínimos e procedimento operacional para o abastecimento de recipientes transportáveis abastecidos no local ou estacionários, nas instalações das centrais de gás liquefeito de petróleo dos consumidores, a partir de veículo abastecedor ou veículo de transferência específico.
ABNT NBR 12712	2002	Projeto de sistemas de transmissão e distribuição de gás combustível	Fixa as condições mínimas exigíveis para projeto, especificações de materiais e equipamentos, fabricação de componentes e ensaios dos sistemas de transmissão e distribuição de gás combustível
CEGRIO (Naturgy) RIP	1997	Regulamento de Instalações Prediais	Fixa os requisitos mínimos indispensáveis à aprovação de projetos e à fiscalização das instalações prediais de gás canalizado no Estado do Rio de Janeiro, levando em consideração a segurança dos usuários, bom funcionamento e conveniência.

**Continuação do Quadro 9: Relação de normas inerentes aos projetos e instalações de SPAQ's com Instalações de Gás e Instalações de Aquecimento Solar**

ITEM	DATA	TÍTULO	DESCRIÇÃO
<b>C – NORMAS ESPECÍFICAS PARA SPAQ COM AQUECIMENTO SOLAR</b>			
ABNT NBR 15569	2008	Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – Projeto e Instalação	Estabelece os requisitos para o sistema de aquecimento solar (SAS), considerando aspectos de concepção, dimensionamento, arranjo hidráulico, instalação e manutenção, onde o fluido de transporte é a água.
ABNT NBR 15747-1	2009	Sistemas solares térmicos e seus componentes – Coletores solares Parte 1: Requisitos gerais	Especifica os requisitos de durabilidade (incluindo resistência mecânica), confiabilidade, segurança e desempenho térmico dos coletores solares de aquecimento de líquidos.

**Adaptado de ABNT, 1993, 2002, 2008, 2009a, 2016, 2017, 2018b, 2019; CEGRIO, 1997**

### **3.2.2. SISTEMAS PREDIAIS DE ÁGUA QUENTE COM AQUECIMENTO VIA GÁS (NATURAL OU LIQUEFEITO DE PETRÓLEO)**

O SPAQ com aquecimento de água via gás consiste em instalação hidráulica dedicada à água quente, com tubulação exclusiva, cuja fonte de energia térmica consiste nos combustíveis Gás Natural ou Gás Liquefeito de Petróleo.

A configuração da instalação obedece a um *layout* básico para funcionamento, que consiste nos componentes de: alimentação (energética e hidráulica); medição da vazão e consumo; equipamentos de aquecimento;

reserva; distribuição (condução até os pontos finais de consumo), e acessórios (registros, válvulas de segurança e controle, isolamento térmico, entre outros).

A variabilidade construtiva possível para estes itens se dá conforme quadro a seguir.

**Quadro 10: Descrição do layout e componentes do sistema de aquecimento a gás**

ITEM		DESCRIÇÃO
<b>I</b>	<b>ALIMENTAÇÃO</b>	
I.a	Alimentação energética	Pode ser feita via gás GLP ou Gás Natural, dependendo da disponibilidade local.
I.b	Alimentação de água	Se dá, quando o sistema é central, pelo reservatório geral de água potável da edificação, através de tubulação resistente à temperatura e com proteção contra retorno de água aquecida para o sistema de água fria.  Quando não existe reservatório ou este é individualizado, se dá pela alimentação de água potável para cada unidade habitacional através de ramal de água fria dedicado dentro da instalação de água do próprio apartamento
<b>II</b>	<b>MEDIÇÃO</b>	
II.a	Medição de consumo energético	A medição de consumo é realizada através medidores individualizados, por unidade habitacional, ou medição geral na central de reserva de gás ou na entrada da edificação.  Pode ser realizada a medição da água quente utilizada individualmente, em caso de central comum de aquecimento.

**Continuação do Quadro 10: Descrição do layout e componentes do sistema de aquecimento a gás**

ITEM		DESCRIÇÃO
<b>III</b>	<b>AQUECIMENTO</b>	
III.a	Equipa- mento aquecedor	O aquecimento de água via gás se dá por aparelhos instalados dedicado ao aquecimento, os quais podem ou não possuir reserva (aquecedores de passagem ou acumulação)
<b>IV</b>	<b>DISTRIBUIÇÃO</b>	
IV.a	Tubulação de água fria	Tubulação de alimentação hidráulica do sistema, majoritariamente executada em PVC Ponta e Bolsa soldável marrom
IV.b	Tubulação de condução de gás	Tubulação de alimentação energética da rede ou cilindros até os aparelhos aquecedores, executada em cobre ou aço carbono.
IV.c	Tubulação de água quente	Tubulação dedicada ao transporte da água aquecida dos aparelhos aquecedores ao ponto de consumo, geralmente executada em CPVC ou cobre, ou ainda, mais atualmente, em materiais como PPR e o sistema PEX.
<b>V</b>	<b>Equipamentos e materiais acessórios</b>	
V.a	Registros e válvulas de segurança	Ao longo da configuração do sistema são necessários registros e válvulas para fechamentos parciais, segurança e manutenção, tais como válvulas reguladoras de pressão, válvulas controladoras de vazão, registros de gaveta ou esfera para fechamento.
V.b	Isolamento térmico (para tubulação metálica)	Para a tubulação de distribuição de água quente em cobre ou outro metal a fim de que energia térmica não seja dissipada,, é necessária a previsão de isolamento térmico, o qual pode ser sob a forma de lã de rocha, lã de vidro, isopor ou calha bipartida de poliuretano.

**Continuação do Quadro 10: Descrição do layout e componentes do sistema de aquecimento a gás**

ITEM		DESCRIÇÃO
V.c	Fixações e infraestrutura de apoio	É necessário que, considerando a manutenção do desempenho do sistema ao longo da utilização, sejam previstas fixações de tubulações adequadas para evitar vibração excessiva e outras patologias.
V.d	Proteção mecânica e revestimento de tubulação	A tubulação de gás, conforme prescrição normativa, deve ser totalmente estanque para evitar vazamentos que possam causar explosões ou outros problemas. Desta forma, quando enterrada ou embutida, a tubulação deve contar com encamisamento para garantir estanqueidade e proteção contra carga mecânica de passagem de veículos, por exemplo.

Conforme descrição do quadro, a alimentação energética via Gás Natural é realizada por ligação direta com rede de distribuição de gás de concessionária local.

A alimentação energética por Gás GLP se dá através de cilindros de reserva, os quais possuem diversos tamanhos no mercado, conforme descrito pelo quadro 9, e são instalados em central locada dentro do terreno do empreendimento, em local ventilado.

Com relação à medição de vazão, e conseqüentemente de consumo, para o Gás Natural, a medição é realizada individualmente para cada unidade habitacional, pela concessionária, para cobrança de valor pela utilização. Para o caso do GLP, a medição deve ser realizada a fim de que planeje a reposição dos cilindros ou combustível. Tal medição pode ser geral, com um medidor localizado na central (rateio igualitário dos custos de manutenção do sistema e reposição do combustível) ou por unidade habitacional.

Além do exposto, pode-se realizar a medição do consumo de água quente de cada unidade habitacional, em se tratando de um sistema de central coletiva, permitindo que se avalie o consumo individualizado.

Os aparelhos aquecedores com combustível a gás, conforme citado, podem ser de acumulação ou instantâneo (de passagem). O aquecedor de acumulação é definido como aparelho que se compõe de um reservatório dentro do qual a água acumulada é aquecida.

O aquecedor instantâneo ou de passagem é um aparelho que não exige reservatório, aquecendo a água quando de sua passagem por ele. (ABNT, 1993)

Instalações via centrais, que possuem demanda de água aquecida mais elevada, utilizam-se de sistema com aquecedor de acumulação, também denominado boiler.

Com relação às tubulações de distribuição, atualmente o material mais utilizado para a instalação de água fria consiste em tubulações em PVC marrom, com conexões tipo ponta-bolsa soldável. A tubulação pode atender diretamente aos aquecedores de passagem ou ao aquecedor central, dependendo da configuração do sistema.

Além da tubulação de alimentação para aquecimento, para os pontos de utilização, tais como chuveiros e pias, o sistema de água quente se conecta com a água fria através de peças misturadoras, para que o usuário seja capaz de controlar a vazão de utilização de um e outro e garantir variações de temperatura conforme sua necessidade.

A tubulação de distribuição de gás é geralmente executada em cobre, aço galvanizado, aço preto ou aço carbono, dependendo das normas de instalação da concessionária local ou corpo de bombeiros. A instalação em tubulação metálica é difundida devido à alta pressão do sistema: " A durabilidade do material é uma das maiores vantagens dessas tubulações, mas o custo elevado (o preço do produto oscila de acordo com a variação de preço do cobre no mercado internacional) e a exigência de mão de obra especializada para a execução das conexões são seus pontos críticos." (CICHINELLI, 2019)

A tubulação de distribuição de água aquecida dos aparelhos aquecedores ao ponto de consumo final é geralmente executada em material metálico, sendo este o mais comumente utilizado cobre, ou plástico polímero, tais como CPVC (*Policloreto de Vinila Clorado*), e mais recentemente em PPR (*Prolipropileno*)

*copolímero Random Tipo 3), PERT (Polietileno para Altas Temperaturas) ou PEX (Polietileno Reticulado).*

Os tubos em cobre possuem diversas características técnicas que favorecem seu uso para altas temperaturas e pressões de serviço: “Por ser um metal e ter excelente condutividade térmica, o cobre evita a perda de calor da água, conservando-a quente no interior da tubulação até a saída.” (ADNORMAS, 2019b).

O CPVC (Policloreto de Vinila Clorado) é um material plástico fruto da combinação do PVC (Policloreto de Vinila) com a cloração para melhora de seu desempenho:

“O PVC clorado é composto com ingredientes necessários às propriedades desejadas para processamento posterior. O cloro adicionado ao PVC dá ao CPVC performance em temperaturas mais altas e aumenta a resistência ao fogo e corrosão”.

(PLASTICS PIPE IINSTITUTE, 2019)

Com relação à sustentabilidade de utilização, uma análise de inventário do ciclo de vida realizada em 2011, compara a produção de CPVC ao Cobre com relação ao consumo energético e potencial de contribuição para o aquecimento global. Quanto à energia, a utilização de recursos de matéria prima para resinas plásticas aumenta a energia consumida para sistemas de tubulação plástica em detrimento do cobre, contudo, tal fator é mais que compensado pelo maior peso da tubulação de cobre por unidade de comprimento, fazendo com que no total se gaste mais energia na produção da tubulação metálica. Contudo, com relação ao potencial para aquecimento global, a tubulação plástica perde em comparação ao cobre na medida em que é produto derivado do petróleo. (ASSOCIATES, 2011)

O tubo em PPR (Polipropileno copolímero Randon tipo 3), material alternativo aos mais utilizados cobre e CPVC, comumente utilizado na Europa para tubulações hidráulicas por sua facilidade de uso e de dispensar o uso de material isolante, que é muitas vezes de alto custo e difícil aplicação, conforme relatam Botelho e Ribeiro Jr, 2011.

O PEX (Polietileno Reticulado) consiste de tubulação para instalação hidráulica flexível, que resiste a altas temperaturas e consiste de sistema mais maleável quanto à instalação:

“O sistema, tal como foi concebido, se assemelha a uma instalação elétrica. O tubo flexível é introduzido dentro de um tubo-guia (rígido ou corrugado) a partir de um quadro (manifold) até os pontos de consumo, sem derivações. Esse distribuidor, que pode ser de cobre ou latão e contar com duas, três ou quatro saídas, pode ser associado a outros manifolds ou ligar-se diretamente à prumada. A vantagem é que, reduzindo o número de conexões como joelhos e cotovelos para fazer a maior parte das curvas, a probabilidade de ocorrer vazamentos diminui. “

(NAKAMURA, 2003)

O Instituto de Tubulações Plásticas dos Estados Unidos (Plastics Pipe Institute Inc.), descreve, em seu manual de instalação de sistemas de tubulações hidráulicas PEX, algumas vantagens de sua utilização, são de interesse ao escopo aqui apresentado:

“Eficiência energética: Tubulação PEX oferece redução de perda de calor e melhora das características térmicas se comparado com material metálico. Menos energia é utilizada pelo aquecedor de água devido ao menor tempo de distribuição de água quente.

Conservação de água: A flexibilidade do PEX permite que ele corra continuamente, reduzindo a necessidade de conexões; permitindo diminuição do diâmetro da tubulação e minimizando o tempo dispendido para que a água quente atinja o dispositivo

Ambientalmente são: segundo o manual, como indicado por alguns estudos de inventário do ciclo de vida, a fabricação de tubulação plástica consome menos energia que a produção similar de tubulação metálica.”

(PLASTICS PIPE INSTITUTE, 2013)

O PERT ou PE-RT (Polyethylene for Raised Temperatures - Polietileno para Altas Temperaturas) é uma resina com arquitetura molecular desenvolvida para permitir, como a própria sigla define, operação em temperaturas elevadas, sendo utilizado como tubulação plástica flexível para instalações. As cadeias moleculares interligadas resultam numa melhora das propriedades como resistência a temperaturas elevadas, resistência química e ao surgimento lento de rachaduras por utilização, conforme define ainda o Plastics Pipe Institute, [s.d.]

A escolha de um ou outro material para as tubulações aquecidas deve estar intimamente relacionada a questões econômicas e de desempenho do

sistema. O quadro a seguir descreve as características técnicas das tubulações comumente utilizadas para a instalação.

**Quadro 11: Comparação de características técnicas dos materiais de composição de tubulações de água quente**

MATERIAL	TEMP. MÁXIMA DE SERVIÇO (°C)	TEMP. DE PICO (°C)	COEF. DE DILATAÇÃO LINEAR (C-1)	CONDUTIBILIDADE TÉRMICA (W/m°C)	PRES-SÃO DE SERVIÇO (mca)	FORMAS DE EXECUÇÃO DAS JUNTAS
Cobre	200	220	0,017	339,4	145 a 500	Soldagem
CPVC	60	90	0,0602 x 10 <sup>-4</sup>	0,137	60	Adesivo
PERT	70	70	1,95 x 10 <sup>-4</sup>	0,400	51 a 104	Termofusão
PEX	80	100	1,40 x 10 <sup>-4</sup>	0,380	60	Crimpagem, anel deslizante e engate rápido
PPR	80	85	0,100	0,240	60	Termofusão

**Adaptado de GNIPPER, 2019**

Nota-se, pelas informações apresentadas, que o cobre possui maior temperatura máxima de serviço e maior condutibilidade térmica dentre as opções apresentadas, o que garante melhor desempenho térmico a temperaturas elevadas, em detrimento de seu custo de aquisição e instalação também elevado. Porém, devido a tal fator, a tubulação de cobre necessita de isolamento térmico para que não perca calor facilmente para o ambiente, enquanto outros tipos de materiais empregados nas tubulações não necessitam.

Com relação ao desempenho ambiental, uma decisão baseada em múltiplos fatores, que envolvem desde o consumo energético na fase de uso até a produção do material da tubulação, é necessária.

Além do exposto, são inerentes ao sistema de aquecimento a gás materiais e equipamentos acessórios, a fim de garantir seu funcionamento adequado, dentro dos parâmetros de desempenho esperados e com segurança ao usuário, tais como registros e válvulas, isolamento térmico, fixações, proteção mecânica e encamisamentos para garantia de estanqueidade.

O sistema de gás encanado exige instalação de válvulas reguladoras de pressão que sejam capazes de diminuir as pressões de entrada da rede ou saída da central de cilindros para pressões de serviço dos aparelhos, que giram em torno de 2,8 MPa.

Além do regulador de pressão, válvulas solenoides, válvulas de alívio de pressão e válvulas de fechamento automático são requeridas para segurança do sistema, conforme texto normativo relacionado a tais instalações.

Além do exposto, a setorização do sistema é importante, considerando questões de manutenção e uso. Desta forma, registros de fechamento tipo esfera ou gaveta devem ser instalados no ramal geral de alimentação, nos ramais de cada unidade habitacional e em possíveis ramais de serviço, limpeza, extravasão e outros.

### **3.2.3. SISTEMAS PREDIAIS DE ÁGUA QUENTE COM AQUECIMENTO VIA TERMO SOLAR E COMPLEMENTAÇÃO POR OUTRA FONTE ENERGÉTICA**

A energia térmica solar converte energia do sol (através da radiação) em calor utilizável, enquanto que a energia solar fotovoltaica cria eletricidade, conforme descreve a *CanSIA (Canadian Solar Industries Association)*, 2013, podendo ser usada para aquecimento e resfriamento bem como para uma variedade de necessidades de água e disposições espaciais em usuários de diferentes naturezas.

Ainda segundo a mesma associação, os sistemas de aquecimento de água são a aplicação mais difundida de energia térmica solar ao redor do mundo. Um típico sistema de aquecimento de água solar residencial pode suprir entre 40 e 60% das necessidades de água quente de uma residência.

Usualmente estes sistemas são projetados integrados com um tanque de água quente com outra fonte energética para suprir continuamente a demanda de água aquecida, uma vez que sua eficiência está intimamente ligada com as

condições climáticas e sazonais, bem como com o posicionamento ideal dos coletores segundo o comportamento solar local:

“A eficiência dos coletores é máxima ao meio dia, no verão, quando o céu está sem nuvens, e quando os coletores estão voltados para o sul. Contudo, os coletores também funcionam bem em outras épocas, quando o céu está com nuvens, por uma boa parte do dia, mesmo que estejam voltados para o oeste. Igualmente, a eficiência é melhor com um gradiente de 35° com relação ao horizonte, mas bons resultados também podem ser alcançados com coletores verticais fixados a uma fachada.”

(ENERGUIDE, 2019)

Diz-se, desta forma, Sistema Predial de Água Quente via Sistema de Aquecimento Solar (SPAQ via SAS) a instalação hidráulica de fornecimento de água aquecida ao usuário através de um subsistema de coleta energética do sol, exposto ao tempo em locais com insolação. Este sistema é, segundo Hanaria *et al.*, 2018, basicamente composto de duas partes principais: tanques de acumulação e coletores solares. Os coletores têm o objetivo de coletar e reter calor do sol. Uma vez que capturam tal energia, este calor é transferido para um líquido conhecido como o fluido de transferência de calor, o qual usualmente é a própria água, que coleta o calor e se move para uso ou armazenagem nos tanques de acumulação (reservatórios).

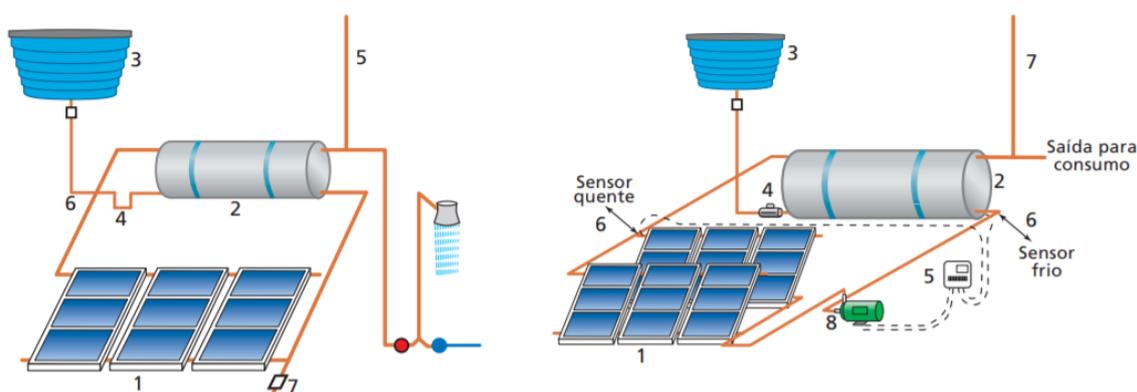
Os sistemas podem ser, segundo a circulação de água para aquecimento, do tipo termo sifão ou circulação forçada.

O sistema com funcionamento denominado termo sifão ou circulação natural, consiste, segundo Andrade *et al.*, 2009, numa configuração em que a água circula entre coletores e reservatório térmico somente pela força criada pelas diferenças de temperatura do líquido no circuito: a água quando aquecida fica menos densa e é empurrada pela água mais fria e mais densa. Tal sistema é indicado apenas para pequenos consumidores.

No caso do sistema por circulação forçada, ainda segundo o autor, a água circula entre os coletores e reservatório pela força exercida por uma bomba hidráulica que é acionada sempre que um equipamento denominado Controlador Diferencial de Temperatura detecta que há energia suficiente a ser captada pelo sol nos coletores.

A figura a seguir demonstra esquemas de instalação do SAS para as condições de circulação natural e circulação forçada, com descrição dos equipamentos componentes em ambos os casos.

Nota-se que, em suma, os sistemas de aquecimento solar constituem-se, além dos coletores e do reservatório térmico, de ligação com reservatório de água fria para abastecimento, sifão para evitar retorno, respiro, dreno e, em casos de circulação forçada, bomba hidráulica, controladores, sensores e retenção.



**Termossifão ou circulação natural:**

- 1- Coletores solares;
- 2- Reservatório térmico;
- 3- Caixa de água fria;
- 4- Sifão;
- 5- Respiro;
- 6- Alimentação de água fria com trecho de tubulação resistente a água quente;
- 7- Dreno.

**Bombeado ou circulação forçada:**

- 1- Coletores solares;
- 2- Reservatório térmico;
- 3- Caixa de água fria;
- 4- Válvula de retenção;
- 5- Controlador diferencial de temperatura;
- 6- Sensores de temperatura;
- 7- Respiro (ou válvulas de alívio de pressão);
- 8- Bomba hidráulica.

**Figura 16: Arranjos e dispositivos componentes para Sistemas de Aquecimento Solar por termo sifão e circulação forçada**

**Reprodução de ANDRADE et al., 2009**

Além do exposto, com relação à distribuição de água para as unidades de uma edificação multifamiliar, o sistema, analogamente ao Sistema de Aquecimento a Gás, pode se constituir como individual ou coletivo em arranjos distintos.

O quadro a seguir descreve as tipologias de *layout* segundo os possíveis arranjos.

**Quadro 12: Tipologias e arranjos para Instalações Prediais de Água Quente (IPAQ) com Sistema de Aquecimento Solar (SAS)**

		ARRANJO	DESCRIÇÃO
<b>TIPOLOGIA</b>	<b>INDIVIDUAL</b>	Coletores, acumulação e apoio totalmente independentes por unidade (via aquecedor de passagem, por exemplo)	Composto por um aquecedor solar compacto para cada morador e um tubo de água quente para cada apartamento. A água é pré-aquecida no sistema individual de aquecimento solar de cada apartamento e distribuída para consumo. Cada apartamento conta com um sistema de aquecimento auxiliar, que fornece mais calor à água para atingir a temperatura final,, além de possuir medição de consumo individualizada.
	<b>COLETIVO</b>	Com acumulação e apoio centrais	O aquecedor solar, o reservatório e o aquecimento auxiliar – aquecedor a gás, elétrico ou bomba de calor - ficam na laje ou cobertura da edificação. A água quente, já na temperatura final, é distribuída para o consumo dos apartamentos. Como todo o sistema de aquecimento é coletivo, o consumo de energia elétrica ou de gás do sistema de apoio é cobrado do condomínio, e dividido entre os condôminos
		Com acumulação central e apoio individual	A placa coletora e o reservatório são comuns a todos os apartamentos, porém sistemas auxiliares de aquecimento são instalados em cada apartamento. A água é pré-aquecida no sistema central e armazenada no reservatório central; e distribuída pela tubulação de cada apartamento e quando necessário aquecida por um sistema auxiliar individual.
		Acumulação e apoio individuais	Somente a placa coletora é comum a todos os apartamentos. Cada apartamento tem seu reservatório e aquecimento auxiliar.

*Adaptado de FARIA, 2010*

Nota-se que, independentemente da configuração definida, todas as tipologias de sistema de água quente que utilizam a fonte solar são dotadas de apoio ou redundância de fornecimento de energia por outra fonte energética, o que configura a instalação híbrida. Tal fator ocorre devido à forte influência da sazonalidade e de fatores ambientais ao desempenho do sistema, tendo em vista que este depende principalmente da radiação solar incidente sobre os coletores para gerar energia necessária ao uso. Uma vez que a demanda média por água aquecida para um empreendimento se configura constante e a oferta variável, nem sempre este sistema é capaz de suprir as necessidades do usuário. A complementação da oferta energética, então, deve se dar por exemplo por aquecimento via resistência elétrica geral dentro do reservatório ou aquecedores de passagem alimentados a gás, conforme as configurações descritas.

Em consideração ao exposto, com relação aos possíveis arranjos das instalações de água quente como um todo e dos arranjos de funcionamento do sistema de aquecimento solar, analogamente ao sistema de aquecimento a gás, as instalações são estruturadas segundo uma configuração básica, com variabilidade em cada item componente e material empregado, com as seguintes partes: alimentação, medição, aquecimento, reservação, distribuição, equipamentos e materiais acessórios.

**Quadro 13: Descrição dos componentes do sistema de aquecimento a gás**

ITEM		DESCRIÇÃO
<b>I</b>	<b>ALIMENTAÇÃO</b>	
I.a	Alimentação energética	Através de troca térmica direta entre os coletores e a radiação solar, seja por circulação natural ou termo sifão, seja por circulação forçada com sistema de bombeamento hidráulico dedicado à circulação de água entre o reservatório e os coletores solares.
I.b	Alimentação de água	Através de ligação com reservatório geral de água potável da edificação, geralmente superior, prevendo uma tubulação de ligação resistente à temperatura e com proteção contra retorno de água quente para o sistema de água fria.

**Continuação do Quadro 13: Descrição dos componentes do sistema de aquecimento a gás**

ITEM	DESCRIÇÃO
<b>II</b>	<b>MEDIÇÃO</b>
II.a	<p>Medição de consumo energético</p> <p>A medição de consumo é realizada através medidores individualizados, por unidade habitacional, ou medição geral de consumo da edificação como um todo, dependendo do arranjo proposto para o sistema.</p> <p>Pode ser realizada a medição da água quente utilizada individualmente, em caso de central comum de aquecimento.</p>
<b>III</b>	<b>AQUECIMENTO</b>
III.a	<p>Equipamentos aquecedores</p> <p>Coletores solares em conjunto com sistema redundante a gás ou elétrico, para aquecimento em períodos de pouca insolação. A redundância pode se dar por aquecedor de acumulação (boiler a gás ou elétrico) ou aquecedor de passagem dentro das unidades.</p>
<b>IV</b>	<b>RESERVAÇÃO</b>
IV.a	<p>Reservatórios térmicos</p> <p>Quando o sistema é central, a água aquecida é reservada em reservatório geral de água quente, o qual também pode funcionar como um aquecedor redundante ao sistema.</p> <p>O reservatório, em sistema individual, é exclusivo a cada unidade habitacional.</p>
<b>V</b>	<b>DISTRIBUIÇÃO</b>
V.a	<p>Tubulação de água fria</p> <p>Tubulação de alimentação hidráulica do sistema, majoritariamente executada em PVC Ponta e Bolsa soldável marrom</p>

**Continuação do Quadro 13: Descrição dos componentes do sistema de aquecimento a gás**

ITEM		DESCRIÇÃO
V.b	Tubulação de condução de gás	Tubulação de alimentação energética do sistema de redundância de aquecimento, seja este central ou individualizado, em caso da fonte energética para tal ser gás combustível, executada em cobre ou aço carbono.
V.c	Tubulação de água quente	Tubulação dedicada ao transporte da água aquecida dos aparelhos aquecedores ao ponto de consumo, geralmente executada em CPVC ou cobre, ou ainda, mais atualmente, em materiais como PPR e o sistema PEX.
<b>VI</b>	<b>EQUIPAMENTOS E MATERIAIS ACESSÓRIOS</b>	
VI.a	Registros e válvulas de segurança	Ao longo da configuração do sistema são necessários registros e válvulas para fechamentos parciais, segurança e manutenção, tais como válvulas reguladoras de pressão, válvulas controladoras de vazão, registros de gaveta ou globo para fechamento parcial ou total do sistema.
VI.b	Isolamento térmico	Para a tubulação de distribuição de água quente, a fim de que energia térmica não seja dissipada para o ambiente, é necessária a previsão de isolamento térmico, o qual pode ser sob a forma de argamassa de vermiculita, lã de rocha, lã de vidro, isopor ou calha bipartida de poliuretano.
VI.c	Fixações e infraestrutura de apoio	É necessário que, considerando a manutenção do desempenho do sistema ao longo da utilização, sejam previstas fixações de tubulações adequadas para evitar vibração excessiva e outras patologias.

Conforme o quadro e texto descrito anteriormente, a medição de consumo só existe para o caso de consumo da água utilizada no sistema e para o consumo da energia necessária ao aquecimento de redundância, dependendo da fonte

energética. Em consideração, se o fornecimento energético das placas é suficiente para atendimento da demanda, não há consumo energético a ser medido e faturado para o sistema.

O aquecimento propriamente dito, conforme relatado, é realizado principalmente pelos coletores solares por radiação do sol transformada em energia térmica que passa à água circulante do sistema.

Em todo caso, quando os coletores não atenderem suficientemente à demanda de água quente, o sistema conta com alimentação energética elétrica ou a gás, geralmente instalada no aquecedor de acumulação ou em aquecedores de passagem nos apartamentos.

A água aquecida é circulada entre os coletores e o reservatório térmico.

Os reservatórios térmicos são definidos como “conjunto constituídos por um tanque e demais componentes destinado ao armazenamento de energia térmica.” (ABNT, 2018a)

Tais reservatórios, a exemplo do aquecedor de acumulação, também podem possuir a função de equipamentos aquecedores, ou apenas reservar a água aquecida por outro dispositivo. No caso da energia solar, geralmente possuem sistema de aquecimento por outra fonte, em redundância ao aquecimento termossolar, a fim de garantir desempenho em períodos de baixa insolação.

A tubulação de circulação e distribuição da água pode ser executada em cobre ou CVPC, com características similares à instalação predial de água quente com aquecimento via gás.

A tubulação de condução de água fria, conforme anteriormente, também é executada geralmente em PVC.

Assim como o sistema com alimentação a gás, o sistema de água quente com aquecimento solar deve possuir válvulas e registros de fechamento para setorização, bem como válvulas de retenção para segurança contra circulação contrária de fluido. Além do exposto, é necessário que a tubulação de água aquecida seja isolada termicamente.

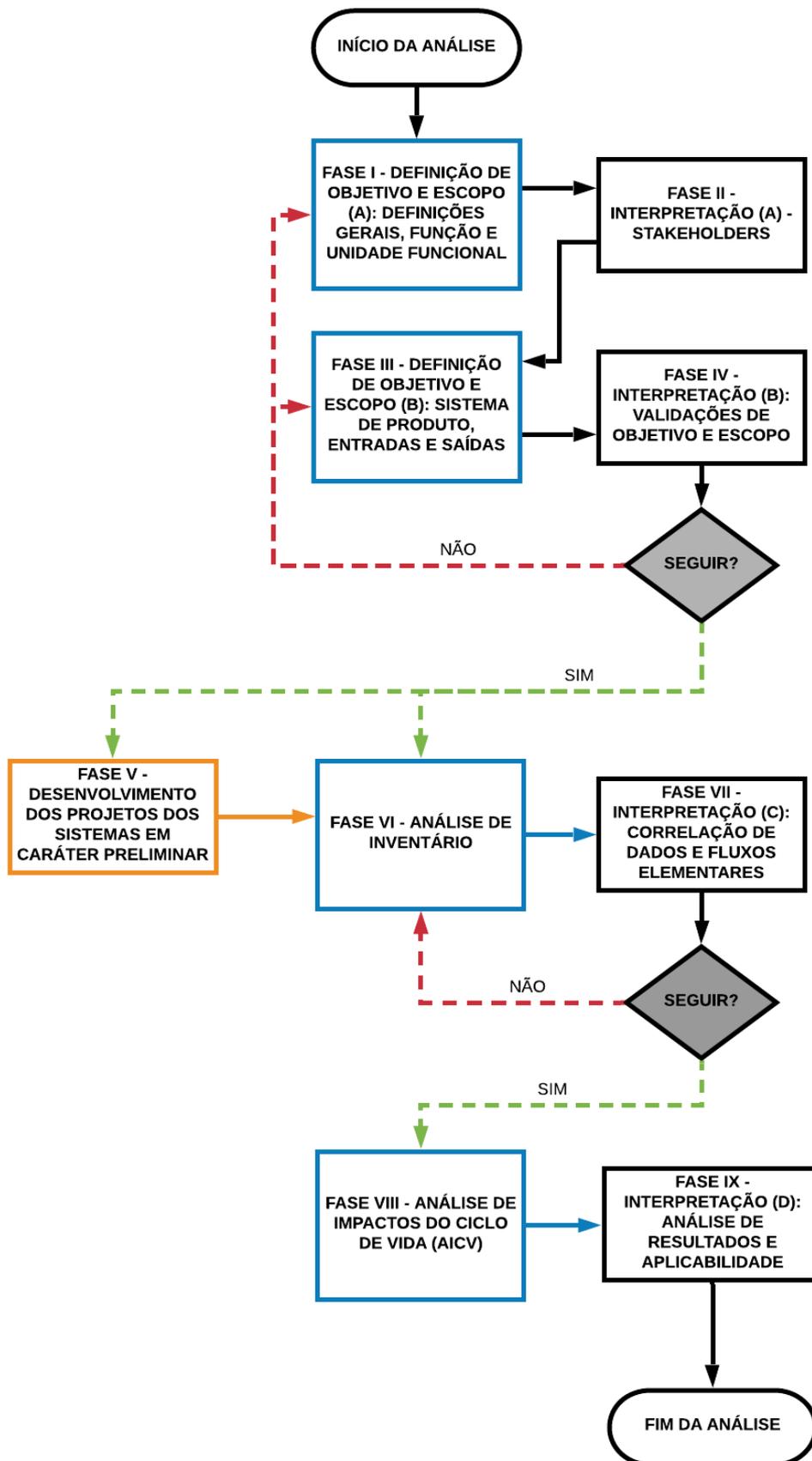
#### **4. MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE SISTEMAS HIDRÁULICOS DE EDIFICAÇÕES COM BASE NA NBR ISO 14040 E 14044**

A partir das definições apresentadas nos capítulos anteriores, buscou-se criar um fluxograma metodológico de trabalho para a aplicação comparativa da Avaliação do Ciclo de Vida para sistemas de aquecimento de água em edificações residenciais multifamiliares, como forma de se obter dados para análise no que diz respeito aos impactos ambientais de tais sistemas, sob o ponto de vista de atentar para o consumo energético da fase de uso e sua relação com os padrões de vida da população destas cidades.

Através dos resultados da avaliação, espera-se definir parâmetros interessantes à tomada de decisão de qual tipologia de sistema de aquecimento seguir, acrescentando parâmetros ambientais a uma tomada de decisão anteriormente galgada prioritariamente em questões financeiras e técnicas. Espera-se também avaliar a influência de fatores específicos dos sistemas prediais aos impactos gerados pelos mesmos, tais como as especificações das tubulações utilizadas no sistema, a localização do mesmo, o fator escala, com verificação da influência do tamanho do sistema nos impactos gerados por uma unidade de consumo, entre outros. Desta forma, o processo decisório passa também por componentes internos e configurações dos sistemas prediais, que podem ser melhorados e modificados dados os resultados, fatores intimamente ligados com os custos de produção e com os impactos gerados durante o ciclo de vida.

O método aqui desenvolvido, desta forma, cria uma rotina de trabalho para avaliação de ciclo de vida de sistemas hidráulicos de edificações, não só no que concerne a sistemas de aquecimento, a qual possua capacidade de reprodução para fins de obtenção de informações que levem à tomada de decisão a nível de elaboração de projetos mais sustentáveis.

O fluxograma a seguir demonstra todas as fases de aplicação do método desenvolvido, baseada nas quatro principais etapas metodológicas da Avaliação do Ciclo de Vida definidas pela NBR ISO 14040, acrescidas de etapas complementares relacionadas ao perfil da pesquisa.



**Figura 17: Fluxograma geral de aplicação do método**

Em suma, o método desenvolvido é estruturado segundo nove fases principais, as quais orientam a elaboração e avaliação dos projetos e sua respectiva análise. O fluxograma anterior distingue as fases segundo três categorias principais: fases centrais estão focadas em etapas comumente verificadas nas metodologias de aplicação de Avaliação do Ciclo de Vida, as quais correspondem à Definição de Objetivo e Escopo (neste processo dividida em duas etapas distintas, visando melhor controle dos processos); Análise de Inventário e Análise de Impactos do Ciclo de Vida (AICV).

Ao longo do processo foram inseridas quatro fases de Interpretação do ciclo de vida, denominadas Interpretação (A), Interpretação (B), Interpretação (C) e Interpretação (D), cada qual orientada a verificar as informações obtidas das etapas centrais e avaliar sua qualidade, coerência e importância ao estudo, funcionando como uma validação e controle contínuo ao longo do processo.

As fases de interpretação possuem relação direta com a continuidade do processo e são responsáveis por chaves de decisão de prosseguimento ou repetição de etapas, caracterizando a iteração do método, que busca o aperfeiçoamento das informações e refinamento dos dados até que se obtenham resultados satisfatórios e de qualidade assegurada.

Além do descrito, acrescentou-se na metodologia básica preconizada pela NBR ISO 14040, 2009, a fase V, que consiste na elaboração dos projetos propriamente dita. Tal etapa fomenta quantitativamente os *inputs* de materiais utilizados para avaliação de Inventário e consequente Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida através de relação de materiais obtida dos projetos.

Dadas as características do processo metodológico desenvolvido, realiza-se a seguir descrição detalhada de cada uma das nove fases principais, as definições e orientações aplicadas às etapas processuais que fazem parte das mesmas e seus pormenores.

A figura a seguir descreve detalhadamente as etapas contidas nas fases I, II, III e IV do estudo (respectivamente Definição do Objetivo e Escopo (A), Interpretação (A), Definição do Objetivo e Escopo (B) e Interpretação (B)).

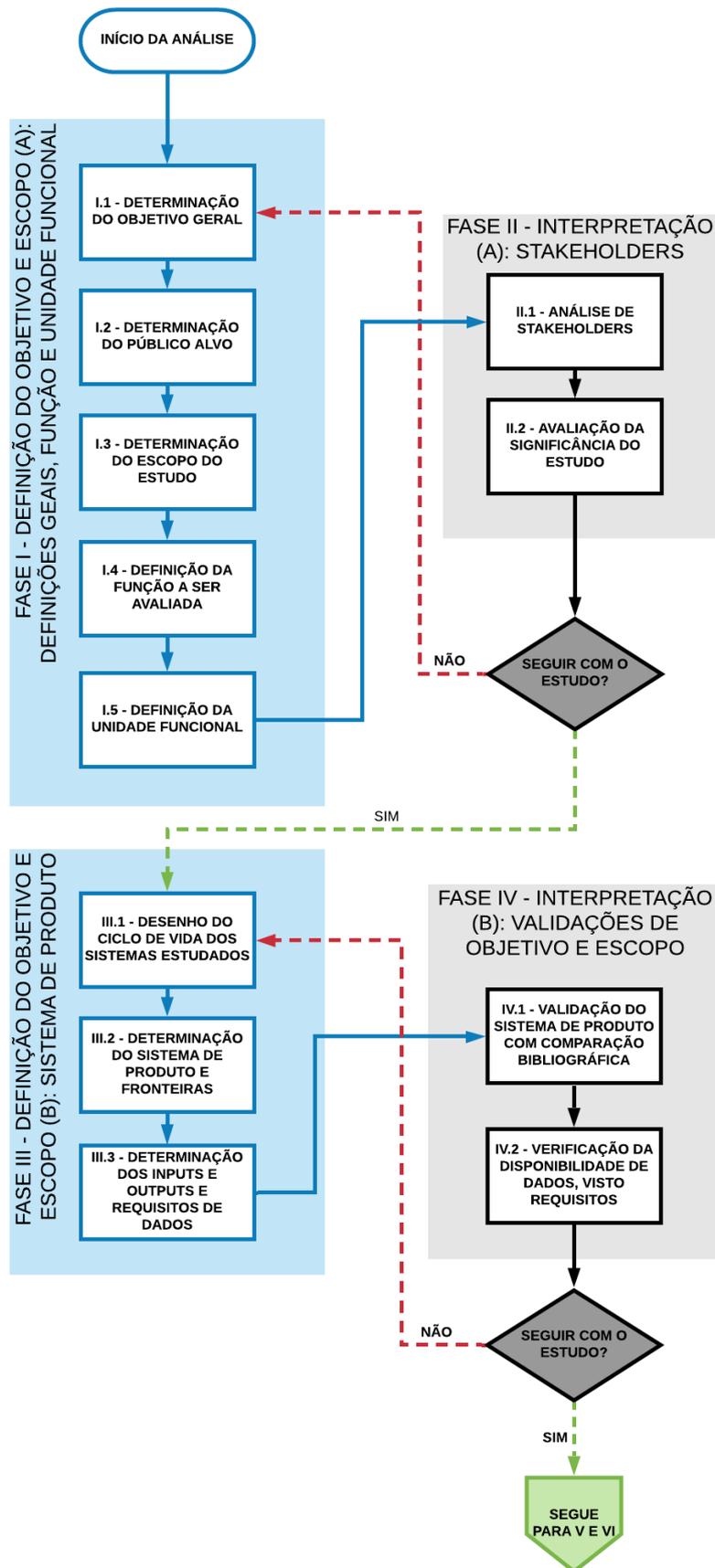


Figura 18: Fluxograma detalhado de etapas do método: Fases I a IV

O marco inicial da análise se dá a partir da necessidade de determinação do perfil ambiental de certo sistema hidráulico em comparação a outro, por exemplo. A primeira fase, denominada Definição do Objetivo e Escopo (A): Definições Gerais, Função e Unidade Funcional, engloba cinco atividades para que se possa extrair, como produto final da fase, o perfil da pesquisa, seus objetivos, o que será feito, definições da função do sistema que será enfoque da análise, entre outros aspectos importantes à delimitação do escopo.

Para tanto, a etapa I.1 consiste na determinação do objetivo geral da análise a ser realizada. Tal objetivo, conforme descrição do capítulo 2, deve ser claro e coerente com a realidade do local de aplicação, de modo que possa ser válido e ter real importância no contexto em que será aplicado.

O produto analisado, no contexto do método aplicado, é definido como o sistema hidráulico predial. Sob tal ótica, o objetivo pode ser traçado sob diversos aspectos, a exemplo, pode se querer analisar o desempenho ambiental do sistema predial instalado em sua fase de uso, para avaliar os impactos de uma queda de desempenho que se reflete em patologia construtiva para o usuário e para o ambiente no entorno, pode-se ainda avaliar o desempenho ambiental de dois sistemas prediais com a mesma função mas construídos com materiais diferentes, o que reflete diretamente em seu tempo de vida útil, volume de matéria-prima utilizado e periodicidade de manutenção, fatores decisivos para a avaliação de consumo energético no período de uso do sistema e na energia e recursos consumidos para manutenção, renovação e descarte final.

O objetivo geral então, deve ser esboçado levando sempre em consideração o resultado gerado e sua aplicação final. Os resultados da análise do desempenho do sistema predial em sua fase de uso podem ser utilizados para tomada de decisão da utilização de um determinado tipo de sistema ainda na fase de projeto, sendo o objetivo geral traçado, por exemplo, como a definição do tipo de sistema a ser usado para a distribuição de água em uma edificação de tipologia específica, ou se é definida em projeto uma tubulação de cobre ou de PVC, dados os impactos observados.

Tal determinação por equipe multidisciplinar envolvida no projeto do sistema predial, produto da análise, de forma que se reflita na melhor definição para os resultados que devem ser obtidos.

A etapa I.2 consiste na determinação do público-alvo. É inerente e importante ao estudo, a partir da manifestação de uma necessidade do profissional ou equipe de profissionais que o executa, que se faça a avaliação de quem será o público-alvo do mesmo.

A determinação do público alvo do estudo guia todo o perfil metodológico seguinte, na medida em que define, a rigor, qual o detalhamento e variabilidade dos dados que devem levantados, qual recorte do ciclo de vida deve ser realizado e quais impactos são mais importantes à análise.

No caso do projeto de instalação predial, o público-alvo pode ser definido como o usuário final, que de fato vai utilizar o sistema e quer saber qual é mais vantajoso nesse aspecto, ou a construtora que realizará a obra e necessita do melhor custo-benefício, ou ainda pode ser a própria equipe de projetistas da instalação, que necessita da determinação do sistema que consuma menos recursos ambientais ou gere menor volume de impactos, a fim de que se tenha um perfil de edificação sustentável que busque uma certificação ambiental, por exemplo.

Em seguida, faz-se, no item I.3, a determinação do escopo da análise. Incluiu-se, neste ponto, uma fase de refinamento dos objetivos, tratando mais diretamente quais seriam os objetivos finais do estudo, define-se as etapas de aplicação, alcance, equipe de trabalho envolvida e outros aspectos importantes à elaboração.

Com as definições apresentadas, pode-se traçar, em I.4, a função a ser avaliada no método empregado. Um produto, como denota o capítulo explicativo da metodologia geral da ACV, possui diversas funções, devendo-se definir quais serão avaliadas na análise, em consideração aos seus objetivos e público alvo.

Desta forma, novamente para o caso dos sistemas prediais hidráulicos, podem ser analisadas funções como as apresentadas pelo quadro a seguir, que resume as principais funções de sistemas de água fria, água quente e gás

encanado (GN ou GLP). Nota-se que as funções estão intimamente atreladas aos usos dos sistemas.

**Quadro 14: Principais funções dos sistemas prediais de água fria, água quente e gás encanado**

SISTEMA PREDIAL	FUNÇÕES PRINCIPAIS
Água Fria	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alimentação de ponto de utilização para higiene;</li> <li>- Alimentação de ponto de utilização para cocção;</li> <li>- Alimentação de ponto de utilização para limpeza;</li> <li>- Alimentação de sistema de aquecimento de água;</li> <li>- Alimentação de sistema de condicionamento de ar.</li> </ul>
Água Quente	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aquecimento de água para higiene do usuário;</li> <li>- Aquecimento de água para cocção;</li> <li>- Aquecimento de água para limpeza de utensílios.</li> </ul>
Gás Encanado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cocção;</li> <li>- Aquecimento de água;</li> <li>- Combustível para sistemas de nobreak;</li> <li>- Combustível para ambiente hospitalar</li> </ul>

É notório, neste ponto, que outros sistemas prediais podem ser estudados sob a mesma ótica, tais como as instalações prediais de esgoto sanitário e pluvial, ou mesmo aproveitamento de água de chuva e reuso de águas servidas.

A partir da determinação da função, faz-se necessária a determinação da unidade funcional do estudo. Em retomada às definições descritas no capítulo 2, a unidade funcional trata da quantificação da função determinada ou de característica de desempenho do produto.

Um fator interessante consiste no fato de que a unidade funcional deve, no caso dos sistemas prediais, ser trabalhada como unidade de desempenho e não unidade mássica ou métrica. Por exemplo, utilizar a unidade funcional como 1 metro de tubulação de PVC não gera resultados práticos no que diz respeito à avaliação comparativa, apesar de fornecer mais diretamente valores de impactos ambientais globais de um sistema hidráulico.

Desta forma, alterando-se a unidade funcional para uma unidade de desempenho, se tem uma visão mais realista e prática de quanto de material é necessário para que o sistema realize sua função com desempenho adequado.

Com todas as definições gerais desenhadas, pode-se iniciar a Fase II do método denominada Interpretação (A): *Stakeholders*, voltada para um perfil mais gerencial do processo, na medida em que os projetos de engenharia envolvem direta e indiretamente grupos econômicos e sociais distintos que devem ser levados em consideração nas definições gerais da análise.

Desta forma, é necessário que se investigue junto aos participantes do processo, quais são seus requisitos e necessidades e se estes estão alinhados com as definições elaboradas.

*Stakeholder* consiste, conforme SB Coaching, 2018, em uma pessoa ou grupo que possui interesse em determinado negócio, indústria ou serviço e que é afetada diretamente pelas práticas e políticas do negócio.

Sob a ótica da gestão do escopo de um projeto, o Guia Base de Conhecimento de Gerenciamento de Projetos (PMBok), descreve que as atividades de coletar, documentar e gerenciar os requisitos das partes interessadas ocorrem dentro dos processos de gerenciamento do escopo do projeto. (PMI, 2017)

As tendências e práticas emergentes para o gerenciamento do escopo incluem:

“Determinar problemas e identificar necessidades de negócio;

Identificar e recomendar soluções viáveis para satisfazer essas necessidades;

Coletar, documentar e gerenciar requisitos de partes interessadas para cumprir objetivos de negócio e do projeto, e

Facilitar a implementação bem-sucedida do produto, serviço ou resultado final do programa ou projeto”.

(PMI, 2017)

Dentro de um projeto de construção sempre haverá muitas partes interessadas, as quais, segundo Machado, 2017, incluem os proprietários e usuários da instalação, os gerenciadores de projeto, os membros da equipe de projeto, os gerentes de instalações, os designers e arquitetos, empresas de

loteamento, acionistas da empresa que desenvolve o empreendimento, a administração pública, trabalhadores envolvidos na construção, subcontratados e fornecedores de serviços terceirizados, concorrentes, bancos, companhias de seguros, representantes da comunidade do entorno, público em geral, entre outros.

Desta forma, para a validação do estudo, os *stakeholders* ou partes interessadas mais importantes relacionados devem ser consultados, na medida em que se refinem as arestas necessárias ao seu desenvolvimento. Desta forma, sugere-se aqui que as definições de objetivo e escopo sejam apresentadas formalmente para comentários por, pelo menos, os gerenciadores de projeto, os membros da equipe de projeto, gerentes de instalação, arquitetos e acionistas interessados no projeto, em reunião com a participação de representantes destes grupos, a fim de validação ou apontamentos para modificação das definições.

Há que se salientar, neste ponto, que o caráter de busca da sustentabilidade da pesquisa evidencia a tendência necessária de definição de quais dos inúmeros interessados no processo deve-se priorizar:

“Embora em projetos de construção existam muitos *stakeholders*, em regra geral apenas um pequeno número possui elevada significância em relação aos requisitos de sustentabilidade. É importante descobrir quem são as partes interessadas e as pessoas chave, levando em conta que diversos tipos de *stakeholders* estão envolvidos em diferentes etapas do empreendimento, tais como pré-projeto, projeto, licitação e construção propriamente dita.”

(MARQUES, 2015)

Após a avaliação da qualidade das definições do estudo a partir das principais pessoas envolvidas, pode-se definir se o processo segue ou retorna às etapas iniciais para redefinições e reavaliação que o leve a ser representativo para os grupos sociais que possam ter interesse pelo mesmo. Tal iteração deve ser realizada tantas vezes quantas forem necessárias, a fim de que o objetivo, escopo, função e unidade funcional tenham suas características refinadas. Após este processo, pode-se partir para o desenho do ciclo de vida dos sistemas estudados.

Após o refinamento do objetivo e escopo, inicia-se a Fase III – Definição de Objetivo e Escopo (B): Sistema de produto, entradas e saídas, a qual determina o desenho do ciclo de vida dos sistemas de instalações estudados, bem como a parte destes que será objeto de estudo, as fronteiras do mesmo e quais dados são considerados entradas e saídas do processo.

Neste momento, é necessário que se tracem os processos e fases envolvidos no ciclo de vida das instalações hidráulicas desde a produção dos materiais componentes das mesmas até o descarte final do sistema, após o tempo de vida útil.

Nota-se, nesta etapa, a necessidade de se ter definido anteriormente a função estudada e público-alvo, na medida em que o ciclo de vida de uma instalação envolve muitos processos unitários e outros ciclos de vida incorporados, tais como os correspondentes aos materiais de tubulação, reserva e outros elementos, os quais nem sempre são interessantes ao enfoque do estudo.

O esboço do ciclo de vida em função dos objetivos do estudo direciona para a etapa III.2, de determinação do sistema de produto e suas fronteiras. Como relatado anteriormente, neste momento delimita-se o sistema a ser estudado dentro do ciclo de vida da instalação, que cortes serão realizados qual será o limite final do estudo, enfatizando os processos mais essenciais para a obtenção dos resultados desejados.

Sob tal aspecto, em se tratando de uma tomada de decisão sobre qual tipo de instalação de aquecimento de água utilizar, por exemplo, fatores relacionados ao tempo de utilização e vida útil, tais custos e impactos de consumo energético, manutenção do desempenho, descarte e renovação são os mais importantes. Neste quesito, deve-se avaliar com clareza os critérios de corte de processos dentro do ciclo de vida a fim de que o sistema analisado possua os principais processos necessários aos resultados.

Para finalização da fase III da análise, define-se, através da etapa III.3, os *inputs* e *outputs* do sistema de produto e os requisitos de dados. Em consideração à definição das fronteiras do sistema, cria-se a necessidade de avaliar os dados da vizinhança do mesmo, que influenciam diretamente no

mesmo, tais como dados de entrada de energia, materiais, produtos de outros sistemas, e seus respectivos resíduos de produção e impactos ambientais relacionados aos processos de entrada do referido sistema.

Além do exposto, deve-se aferir quais dados de saída serão incluídos na análise, sob a mesma conjuntura: quais impactos são relevantes ao estudo, quais produtos dos processos dentro do sistema são principais, entre outros fatores.

Outro fator determinante para a etapa é a definição dos requisitos de qualidade dos dados coletados para as entradas e saídas, a ser realizado na etapa de inventário. Retomando o quadro 4, do capítulo 2, definem-se os requisitos principais: período de tempo coberto (idade dos dados); área geográfica coberta; tecnologias cobertas; precisão, completeza e representatividade dos dados; consistência e reprodutibilidade dos métodos; fontes de dados e sua representatividade e incerteza da informação.

Considera-se, no caso do estudo de projetos de instalações, os requisitos mais importantes a definir como a idade dos dados (em virtude das modificações tecnológicas e de perfil dos produtos utilizados para a construção dos sistemas), precisão, completeza e representatividade (tendo em vista o tipo e local de instalação), consistência e reprodutibilidade (considerando a capacidade do estudo e sua metodologia ser aplicado para outros sistemas em outras situações comparativas ou de tomada de decisão de projeto); fontes e sua representatividade (tendo em vista que os dados coletados devem traduzir a realidade do local de estudo, principalmente, e de suas características).

Após as definições do ciclo de vida, do sistema e suas fronteiras, critérios de corte de dados, entradas e saídas analisadas e critérios de qualidade dos dados a serem obtidos, inicia-se a fase 4 do processo, denominada Interpretação B: Validações de objetivo e escopo.

A segunda fase de interpretação visa validar as etapas de definição do ciclo de vida do produto estudado e verificação da disponibilidade de dados, tendo visto os requisitos de dados determinados.

Para tanto, deve-se realizar comparação entre o ciclo de vida determinado e sistema de produto para análise com outros estudos correlatos parecidos e realizar ajustes que o profissional julgue necessários para que o sistema fique o mais objetivo possível no que diz respeito aos resultados que se deseja obter.

Outra análise a ser realizada é, com a definição dos *inputs* e *outputs* mais importantes e seus respectivos requisitos, qual a disponibilidade e completeza dos dados existentes para análise, principalmente no que diz respeito à sua representatividade com relação à realidade local.

Tal fator é extremamente importante à legitimidade do estudo, uma vez que a localização geográfica e o perfil social e ambiental local têm influência direta na quantificação e qualificação dos impactos de um sistema de produto representado por uma instalação predial.

A respeito, por exemplo, conforme mencionado no capítulo 3, a execução da instalação predial de água quente em cobre, por unidade de metro de tubulação, tende a ter maiores impactos de produção que a tubulação de PVC. Contudo, se em determinado local a distância de transporte de produção para instalação entre um e outro for muito discrepante, pode haver uma inversão de padrão e o PVC se tornar o responsável pelo maior volume de emissões de gases do efeito estufa.

Após a análise e interpretação dos dados realizada, a qual também deve envolver diferentes partes interessadas pelo processo, tem-se a conclusão da fase de determinação de objetivo e escopo e definições gerais.

As próximas etapas do processo consistem, então, da efetiva tomada de dados representada pelo inventário do ciclo de vida e da análise de impactos, seguida de conclusões a respeito do estudo.

A figura a seguir demonstra a segunda sequência de fases do estudo, representada pelo Desenvolvimento dos Projetos dos Sistemas em Caráter Preliminar (Fase V), a Análise de Inventário (Fase VI) e a interpretação (C) (Fase VII), fase de correlação e refinamento dos dados coletados comparados aos fluxos e unidade funcional determinados anteriormente.

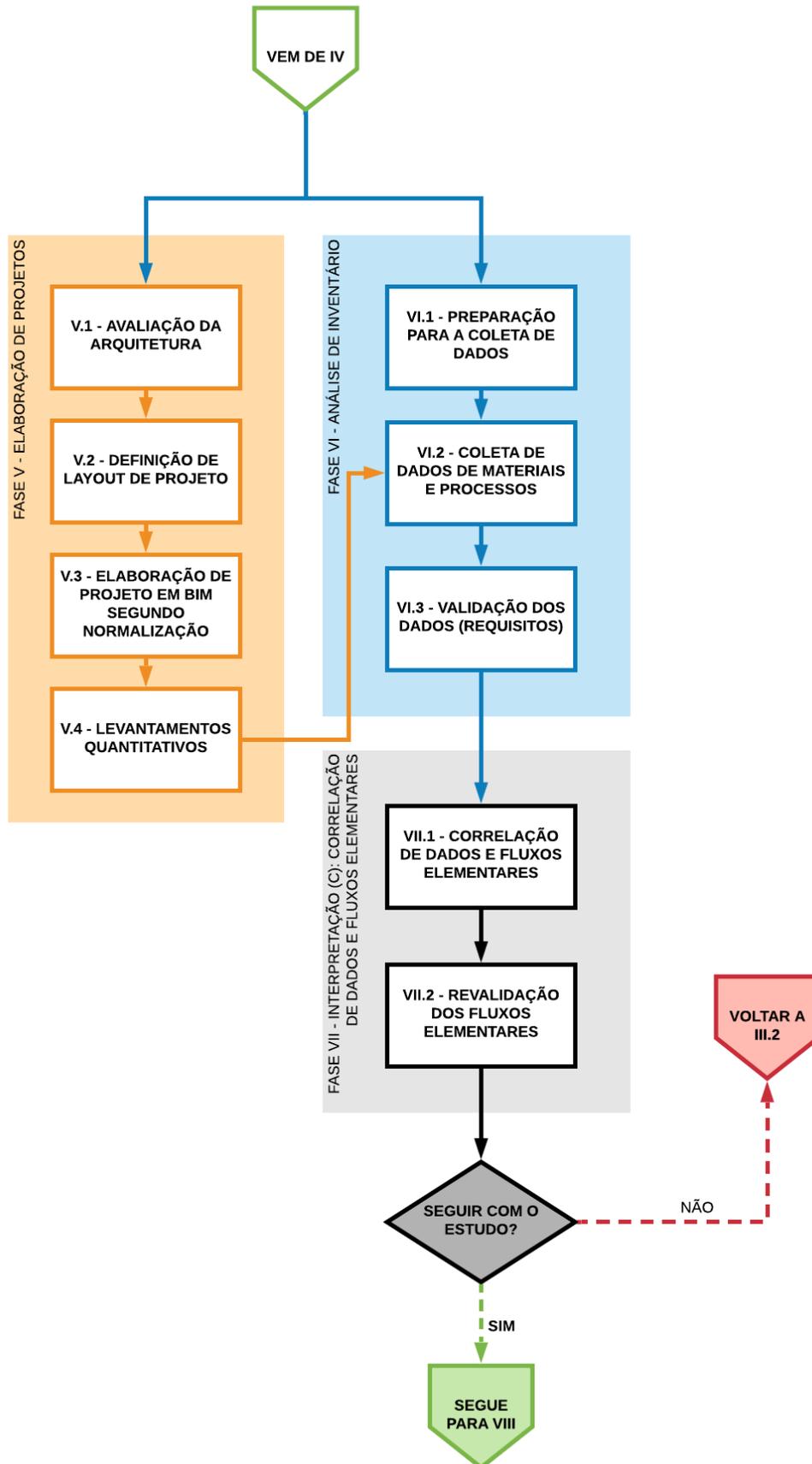


Figura 19: Fluxograma detalhado de etapas do método - Fases IV a VI

As fases V, Elaboração de Projetos, e VI, Análise de Inventário, devem se iniciar concomitantemente ou sequencialmente, tendo em vista que a primeira etapa da fase de inventário consiste em definir e organizar fontes de dados para possibilitar a coleta, organizada segundo os requisitos apontados anteriormente.

Tal preparação para a coleta de dados, para o método desenvolvido, se galga na obtenção das fontes de dados segundo sua natureza: os dados de consumo direto de materiais de construção são obtidos pela relação de materiais fruto do desenvolvimento dos projetos, fator que fomenta a montagem do sistema de produto para o sistema predial tratado no estudo, e permite reconhecer quais fluxos e processos de ciclos de vida complementares devem ser levados em consideração.

Desta forma, a relação de materiais consiste, para efeito de estudo, de um conjunto de sistemas de produto essenciais à montagem do sistema predial.

Outra natureza de dados consiste nos processos, matéria e energia envolvidos no ciclo de vida de manufatura dos produtos componentes do sistema predial. Para a obtenção destes, orienta-se utilização de uma base de dados consolidada internacionalmente, uma vez que a obtenção exata dos processos de produção envolvidos denota tempo e recursos. Tal processo, contudo, pode originar variabilidade de resultados com relação ao ciclo de vida real do sistema estudado e comprometer a confiabilidade e requisitos dos dados, portanto deve ser utilizado conscientemente.

A coleta de dados pode envolver a necessidade de pesquisa bibliográfica e de mercado que fomenta a montagem dos processos do sistema de produto e oriente o volume consumido de materiais para os mesmos.

A fase V, de elaboração dos projetos, consiste, desta forma, para efeito de estudo, da elaboração preliminar dos projetos dos sistemas prediais objetos de análise para finalidade principal de obtenção dos dados necessários a fomentar a análise de inventário do ciclo de vida.

Definiu-se, para esta etapa, quatro atividades principais, sequenciais, relacionadas às boas práticas de engenharia. Inicialmente, deve-se realizar uma avaliação arquitetônica das necessidades e demandas da edificação,

identificação de áreas passíveis de utilização para locação de elementos técnicos, investigação das demandas populacionais do empreendimento e da existência de sistemas locais de abastecimento de recursos e coleta de resíduos e água servida, por exemplo.

Em seguida, o *layout* do projeto deve ser definido, levando-se em consideração elementos como localização de reserva técnica, locação de entrada de alimentação de água ou energética, divisão interna da tubulação de distribuição, melhor locação de equipamentos necessários ao funcionamento do sistema e outras decisões, que devem ser tomadas em conjunto pela equipe envolvida no projeto.

Com as informações necessárias em mãos, parte-se para a etapa V.III, de efetiva elaboração dos projetos, de acordo com as normas vigentes. Sobre este processo, algumas ponderações devem ser analisadas.

Inicialmente, deve-se buscar o entendimento de qual nível de detalhamento o projeto em questão exige, para que a finalidade de análise do ciclo de vida seja cumprida. Em outras palavras, dado o objetivo definido do estudo, quase nunca, para esta etapa, é necessário nível de detalhamento executivo dos projetos. Para efeitos de análise ambiental, alguns fatores podem ser descartados, tais como dimensionamento de suportes de tubulações e acessórios, ou levantamento de conexões de tubulações, elementos voltados para um detalhamento de execução que não influencia de forma significativa à obtenção de resultados acerca dos impactos ambientais do sistema.

Apesar do relatado, outra ponderação importante é que, ainda que o projeto não seja detalhado a nível executivo, devem-se realizar definições importantes ao estudo nesta etapa, tais como as especificações dos materiais componentes. Considerando que a avaliação do ciclo de vida envolve processos a partir do “berço”, ou seja, da fase de extração e manufatura, definir os materiais componentes do sistema, ao menos os mais significativos, é indispensável ao cumprimento do estudo. Desta forma, fatores como tipo de tubulação utilizado, existência de isolamento térmico, tipo e volume de reservatório, tipos de aparelhos e consumo energético dos mesmos, devem ser levantados, e, se

possível, com referências comerciais para consulta de fatores como consumo de matéria-prima em peso e processos específicos de produção.

Outro fator que ratifica tal necessidade consiste no próprio perfil de mercado, que demonstra existência de grande variabilidade de tipos de produtos para a mesma função, os quais possuem diferenças estruturais entre si. Ponderar a utilização do produto que de fato será instalado é importante, ou, ao menos, a definição do norte de projeto neste sentido, para que se evitem erros e se aumente a confiabilidade e completeza dos dados obtidos.

Neste ponto, o método sugere que a elaboração siga a partir de uma modelagem *BIM (Building Information Models)*, a fim de se alinhar com a tendência do perfil do mercado atual e permitir uma análise mais precisa das quantidades e materiais envolvidos no projeto.

A fase de elaboração dos projetos finda com a obtenção da relação de materiais que fomenta os dados de inventário.

A coleta de dados deve seguir, então, para a obtenção dos dados relacionados ao ciclo de vida dos produtos componentes do sistema predial estudado, fator que, como relatado anteriormente, orienta-se ser realizado com auxílio de base de dados, tal como o Ecoinvent.

Orienta-se a modelagem do sistema de produto com auxílio de *software* de avaliação do ciclo de vida, a exemplo do OpenLCA, aliando, a cada produto levantado em projeto, os processos inerentes ao seu ciclo de vida e o fator de consumo deste produto (quantidade) para o projeto em questão. A modelagem do sistema envolve, muitas vezes, combinação de processos básicos e matérias-primas existentes na base de dados, para obtenção dos produtos desejados, fator que pode ser ponto de criação de incertezas no processo, tendo em vista a insuficiência do conhecimento obtido acerca da produção ou a utilização equivocada de processos.

Em todo caso, aproximações podem ser realizadas entre processos e produtos semelhantes, a fim de que se obtenha resultado próximo à realidade, desde que tais aproximações sejam evidenciadas e destacadas e não comprometam os dados de saída obtidos.

As etapas de coleta de dados, considerando as coletas de bases de dados e quantitativos de materiais culminam na etapa de validação dos dados com relação aos requisitos apontados anteriormente.

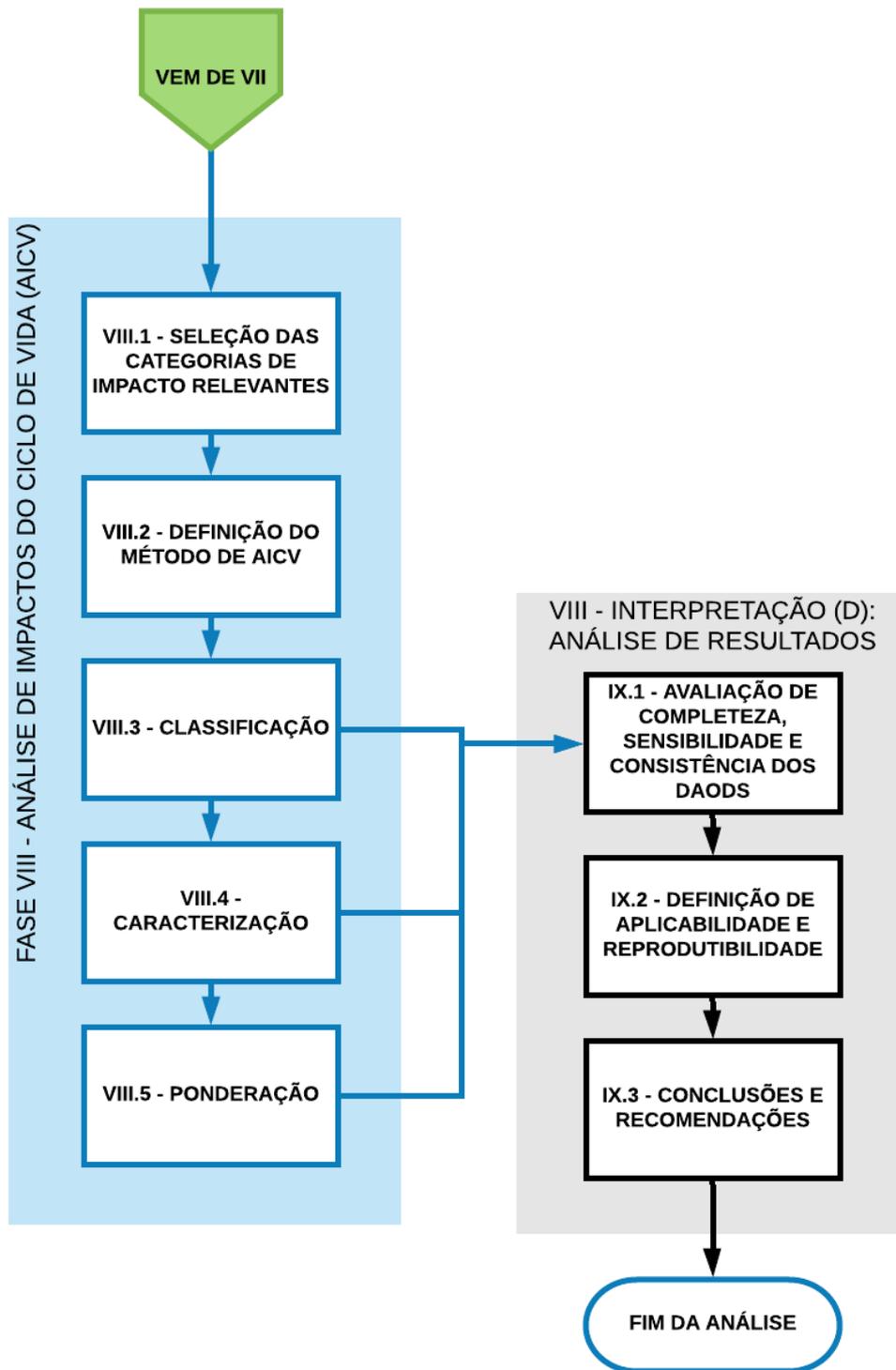
Nesta etapa, os dados coletados no inventário devem ser avaliados segundo os requisitos de dados definidos no início do estudo. Tal avaliação deve determinar a relevância ou descarte de dados coletados, realizando uma triagem do material.

A fase seguinte, Interpretação (C): Correlação de dados e fluxos elementares, é galgada na classificação dos dados coletados segundo os fluxos definidos para a unidade funcional estudada. Desta forma, verifica-se se todos os fluxos considerados possuem dados consistentes e suficientes para a elaboração da análise de impactos do ciclo de vida, se outros dados são necessários ou se não há dados disponíveis suficientes para a definição de todos os fluxos, e estes devem ser revistos.

Após esta análise, novamente decide-se sobre a continuação do processo ou a redefinição e refazimento das fases concluídas para garantia de resultados concisos.

Após a terceira fase de interpretação, retorna-se ao processo de inventário para o refinamento das fronteiras do sistema baseado na correlação dos dados levantados com os fluxos elementares e redefinição dos fluxos.

Com o inventário realizado e o sistema de produto refinado, pode-se proceder à fase de Análise de Impactos do Ciclo de Vida e interpretações finais, as quais são detalhadas pela figura a seguir, que demonstra as fases finais do processo (Fase VIII – Análise de Impactos do Ciclo de Vida e Fase IX – Interpretação (D): Análise de resultados e aplicabilidade).



**Figura 20: Fluxograma detalhado de etapas do método - Fases VII e VIII**

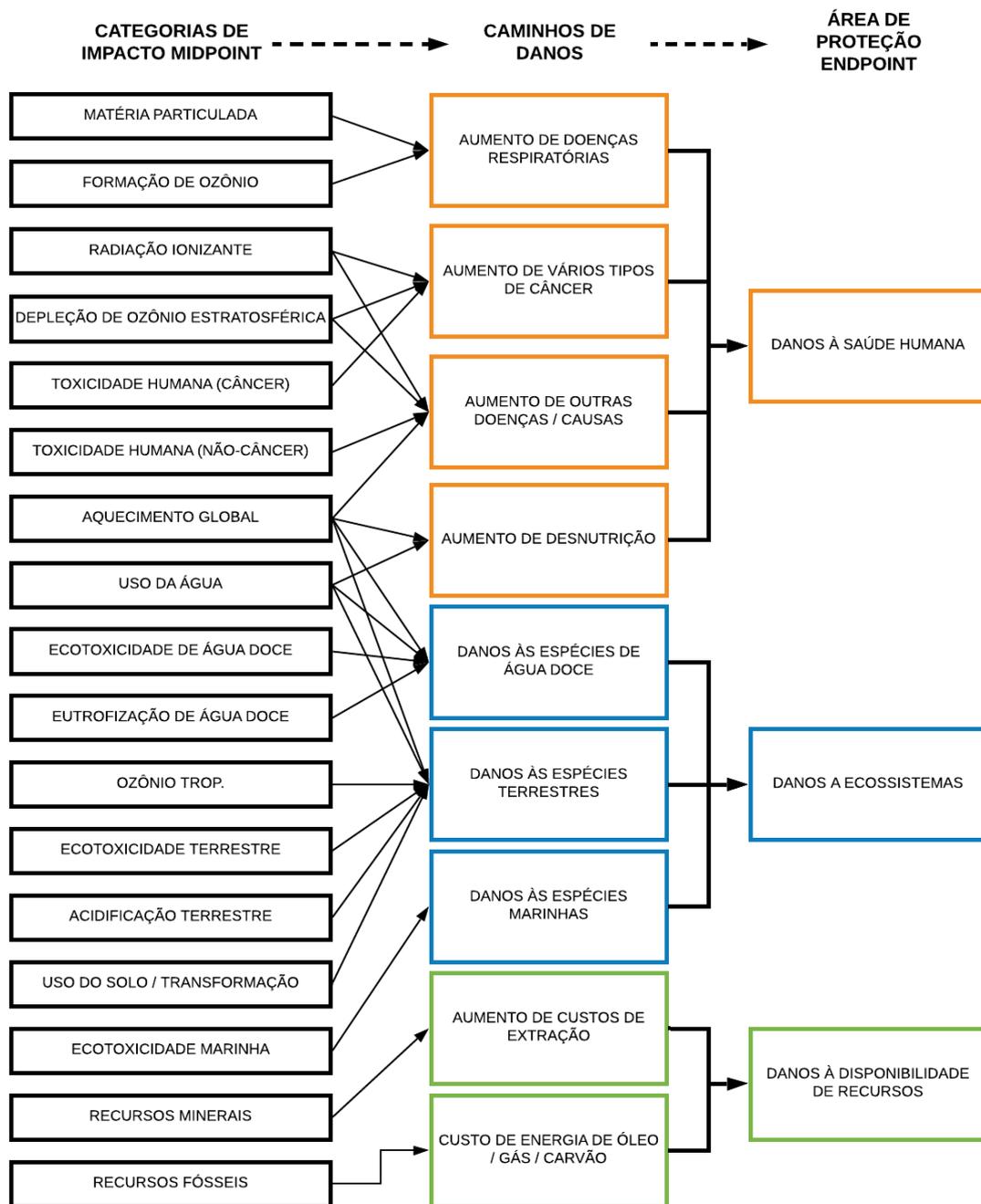
A análise de impactos se inicia com a etapa de seleção das categorias de impacto relevantes ao estudo. Em consideração ao histórico de aplicação de avaliação do ciclo de vida para análise de sistemas hidráulicos, pode-se expor como importantes categorias de impacto, conforme revisão do quadro 6, o aquecimento global, toxicidade humana (carcinogênica e não carcinogênica), escassez de recursos fósseis e recursos minerais e resíduos, impactos considerados diretamente relacionados aos sistemas prediais de emprego do estudo.

Após a seleção das categorias em questão, procede-se a definição do método de avaliação de impactos a ser utilizado, conforme consta do item VIII.2 do fluxograma de trabalho. Para as categorias apontadas e considerando o perfil de estudo, orienta-se utilização metodologia de avaliação dos impactos *midpoint*, que possui menos incertezas de dados.

A metodologia de cálculo de impactos a ser utilizada foi definida como a ReCiPe, que, conforme (GREENDELTA, 2015), combina os métodos Eco-indicator 99 e CML (vide quadro 7) dando-os uma atualização com relação ao conteúdo, derivando fatores de caracterização segundo uma abordagem *midpoint* (com 18 indicadores) ou *endpoint* (com 3 indicadores), os quais são demonstrados na figura a seguir.

Nota-se uma relação causal entre os indicadores *midpoint*, impactos diretos, e as macro áreas *endpoint*, que englobam o tripé da sustentabilidade.

Após a definição do método, o cálculo dos impactos é realizado através da classificação dos dados de inventário dentro das categorias de impacto, sua caracterização (modelagem representativas dos indicadores numéricos para cada categoria *midpoint* definida como prioritária) e ponderação dos resultados.



**Figura 21: Visão geral da estrutura do método ReCiPe**

**Adaptado de RIVM, 2018**

Sugere-se que tais etapas sejam modeladas dentro de *software* de avaliação do ciclo de vida, a fim de que possíveis erros de dimensionamento e cálculos sejam evitados e se adquira mais celeridade ao processo.

Tais etapas, após os cálculos, são validadas pela última fase do método, que consiste na Interpretação (D), em que se avalia a completeza, sensibilidade e consistência dos dados.

Com base nos resultados esperados, realiza-se análise dos impactos obtidos e conclui-se o estudo a partir da verificação da qualidade dos dados conclusivos, sua reprodutibilidade, define-se melhorias para o método e limitações observadas, culminando em orientações para a aplicação metodológica em outros sistemas prediais.

## 5. APLICAÇÃO DO MÉTODO DESENVOLVIDO DE ACV PARA SISTEMAS HIDRÁULICOS EM SISTEMAS PREDIAIS DE ÁGUA QUENTE

Para aplicação do método descrito em capítulo anterior, foi escolhido empreendimento residencial multifamiliar a ser construído no bairro da Gamboa, município do Rio de Janeiro. Projetado com 5 edificações interligadas por pátio e corredores de acesso, o denominado Quilombo da Gamboa constituirá conjunto habitacional que abrigará 116 unidades de apartamentos, e se configura projeto integrante de financiamento da Caixa Econômica Federal para movimento de luta pela moradia associado à Fundação Bento Rubião, como parte integrante do programa Minha Casa, Minha Vida – Entidades, do Governo Federal. A figura a seguir demonstra vista em perspectiva do projeto a partir da modelagem BIM desenvolvida para aplicação do método descrito neste texto.



***Figura 22: Vista do Quilombo da Gamboa - Rio de Janeiro, RJ  
Adaptado do projeto arquitetônico desenvolvido pelo escritório Chiq da  
Silva LTDA***

O programa Minha Casa, Minha Vida – Entidades, criado em 2009, objetiva tornar a moradia acessível às famílias organizadas por meio de associação e cooperativas habitacionais ou sociedades privadas sem fins lucrativos, e se destina a famílias com renda familiar mensal bruta de até R\$ 1.600,00, estimulando participação da população protagonizando a resolução dos problemas habitacionais. (CAIXA, [s.d.])

A Fundação Centro de Defesa dos Direitos Humanos Bento Rubião (FCDDHBR) é uma organização não governamental sem fins lucrativos que

atende grupos populacionais que tem seus direitos humanos violados por causa de sua condição étnico-racial, socioeconômica ou de gênero. Seu programa de Direito à Habitação já assessorou 1.641 famílias na construção de suas moradias em situações de parceria envolvendo poder público, construtoras comunitárias e iniciativa privada. (2019).

O projeto arquitetônico para o empreendimento foi desenvolvido pelas arquitetas Carolina Rezende e Thaís Meireles do escritório Chiq da Silva Arquitetos LTDA, e conta com blocos de edificações residenciais multifamiliares com 4 pavimentos cada, sendo um térreo e 3 pavimentos tipo, além da cobertura com área técnica. A disposição dos apartamentos neste contexto buscou integração das áreas comuns e acessibilidade, com apartamentos acessíveis no nível térreo e rampas de acesso. A figura a seguir demonstra a disposição das edificações no terreno, a denominação de cada uma e número de apartamentos componentes.



**Figura 23: Planta baixa esquemática projeto arquitetônico Quilombo da Gamboa**  
**Adaptado do projeto de arquitetura desenvolvido pelo escritório Chiq da Silva LTDA.**

A distribuição de apartamentos nas edificações e sua tipologia (um ou dois dormitórios) encontra-se demonstrada no quadro a seguir.

**Quadro 15: Descrição das unidades habitacionais componentes do empreendimento**

BLOCO	PAVIMENTO	QUANTIDADE POR TIPOLOGIA		TOTAL
		1 QUARTO	2 QUARTOS	
1	TÉRREO	0	4	4
	PAV TIPO	0	6	6
2	TÉRREO	0	4	4
	PAV TIPO	0	6	6
3	TÉRREO	1	1	2
	PAV TIPO	4	2	6
4	TÉRREO	6	1	7
	PAV TIPO	6	1	7
5	TÉRREO	3	3	6
	PAV TIPO	3	3	6
<b>TOTAL</b>		<b>49</b>	<b>67</b>	<b>116</b>

A partir de tais definições, faz-se, a seguir, aplicação do método de avaliação do ciclo de vida proposto no capítulo 4 para o empreendimento em questão, focado na determinação do desempenho ambiental dos sistemas de água quente com aquecimento via gás natural e termo solar com complementação de outra fonte energética (eletricidade), levando-se em consideração as particularidades executivas do projeto e peculiaridades do local do terreno.

Os tópicos seguintes remetem às macro fases de aplicação definidas na figura 17 do capítulo 4 e detalhadas em etapas nas figuras 18, 19 e 20 do mesmo capítulo.

### **5.1. FASE I: DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO (A) – DEFINIÇÕES GERAIS, FUNÇÃO E UNIDADE FUNCIONAL**

Em consideração ao exposto em capítulos anteriores, a necessidade de exploração do desempenho ambiental dos Sistemas Prediais de Água Quente no que concerne ao seu ciclo de vida a partir de uma ótica que vai desde o berço, considerando a produção dos materiais componentes dos sistemas, extração,

beneficiamento, até a montagem e utilização, é necessária a fim de que se possua uma visão global de seu desempenho ambiental que leve a tomada de decisão, em fase de projeto, sobre materiais utilizados, configurações do sistema e principalmente fonte energética de aquecimento da água utilizada pelo consumidor.

Desta forma, pode-se determinar, para a etapa I.1 do estudo, que o objetivo geral consiste na obtenção de informações ambientais comparativas de sistemas de distintos de aquecimento de água, no caso, para Sistemas Prediais de Água Quente com Aquecimento a Gás Natural e Sistemas Prediais de Água Quente com Aquecimento Termo Solar, as quais, complementadas com as informações de custos de investimento inicial e operação, possam ser parâmetro para que, no design dos sistemas, o projetista tenha ferramentas em mãos para decidir, juntamente com as demais partes interessadas no processo, sobre qual configuração final adotar para a edificação projetada, considerando ainda suas particularidades construtivas.

Para a aplicação aqui apresentada, o objetivo configura-se como a obtenção de informações de desempenho ambiental de sistema predial de água quente com aquecimento a gás natural, comparado com sistema predial de água quente com fonte de aquecimento termo solar, projetados para o empreendimento do Quilombo da Gamboa.

Em consonância ao exposto, o público alvo (etapa I.2) pode ser determinado como a equipe de projetos envolvida na concepção da edificação em questão, a qual as informações de desempenho ambiental dos dois possíveis sistemas projetados serão destinadas, a fim de que uma tomada de decisão técnica seja feita, embasada não só nos preceitos de custos diretos de compra de material, transporte para o canteiro de obras e instalação, mas também seja levada em consideração o consumo de recursos incorporado as materiais componentes e seus impactos durante todo o ciclo de vida destes sistemas.

Dados os objetivos e público alvo apresentados, pode-se traçar o escopo de trabalho (etapa I.4), relacionando o alcance do estudo e atividades realizadas. Desta forma, tem-se que a aplicação da ACV em questão será realizada para duas situações de arranjos de SPAQ's, os quais terão estudos preliminares

desenvolvidos, considerando equipamentos relevantes instalados e caminhamento e dimensionamento preliminar de tubulações, bem como lançamento das posições dos aparelhos consumidores (para o caso, apenas os chuveiros de banho em cada apartamento), os aparelhos e sistemas de aquecimento e sua locação e quantidades). Não foi considerado consumo de água quente para cocção, lavatórios e outras atividades secundárias, tendo em vista que se deseja obter apenas o desempenho de aquecimento relacionado ao banho, fator maior consumidor de água e energia elétrica convertida em térmica em residências do país.

Outro fator importante na definição do alcance do escopo é que, no caso de se objetivar obter desempenho ambiental relacionado aos sistemas de forma ampla, não foram dimensionados ou contabilizados acessórios como fixações de tubulações e válvulas e registros de fechamento dos sistemas. As únicas válvulas contabilizadas foram as de fechamento e dos ramais dos apartamentos e os medidores de consumo de água quente e gás, quando necessários, uma vez que se considera que tais equipamentos são importantes à instalação de cada tipologia de aquecimento e característicos especificamente de cada um. No caso de fixações e válvulas e registros parciais, tais como os registros de fechamento dos chuveiros, a existência é necessária em ambos os casos e não está condicionada ao tipo de sistema de aquecimento, não contribuindo para efeitos de comparação e apenas de quantificação absoluta de consumo e impactos gerados.

Considerando, ainda, o enfoque de produção e utilização dos sistemas, o fim da vida dos mesmos foi descartado do escopo de análise, tendo em vista que o horizonte de utilização é amplo e o tempo de vida útil varia conforme as condições do ambiente e da manutenção dos sistemas, bem como o descarte, reciclagem e outros fatores estão condicionados à própria inutilização da edificação como um todo ou da mudança de seu uso, fatores que fogem ao controle do ciclo de vida dos sistemas de água quente isoladamente.

Foi definido, como escopo, então, a análise da fase pré-operacional e fase operacional dos sistemas prediais escolhidos, definindo-se um tempo de vida útil de 25 anos, o qual é relacionado a informações acerca do tempo de vida útil de

um sistema de aquecimento termo solar sem trocas, conforme maior parte da garantia dos fabricantes de coletores solares.

Estudo do Laboratório Nacional de Energia Renovável dos Estados Unidos (National Renewable Energy Laboratory – NREL) demonstra, em avaliação de dados de diversos fabricantes e bibliografia de utilização no país, europa e Austrália em 40 anos, que os coletores solares demonstram nível de degradação máximo de 0,8%/ano, relacionado à produção de energia térmica e valor médio de 0,5%/ano, o que demonstra que em 20 anos de utilização haveria uma queda de desempenho de 10% e os coletores ainda estariam operando a 90% de sua capacidade máxima. (JORDAN; KURTZ, 2012)

O mesmo estudo referencia que, para a maioria dos fabricantes, é definido horizonte de utilização de 25 anos para coletores solares, fator amplamente divulgado e aceito como tempo de vida útil pelo mercado. A garantia de 25 anos diz respeito ao tempo em que os fabricantes comprovadamente atestam que os painéis solares funcionarão de forma eficiente, com potencial de produção de energia a pelo menos 80% de sua capacidade máxima. (GUIMARÃES, [s.d.]

O peso do desempenho ambiental sobre a tomada de decisão pelo projetista pode ser variado, dependendo do perfil do projeto final, uma vez que se pode, por exemplo, ser utilizado como mandatório para a obtenção de certificação ambiental para a edificação ou, dado o recorte realizado na análise, para a obtenção de dados de consumo energético durante a fase de uso de cada sistema, que são diretamente relacionados ao custo operacional para o usuário final.

Na aplicação aqui apresentada, considerando se tratar de um estudo exemplo, não foram levados em consideração os fatores de custos diretos de aplicação dos sistemas para a definição do mais vantajoso comparativamente. Contudo, é notória a relevância da relação do consumo de recursos materiais e energéticos de cada sistema e seu custo para o construtor e para o usuário, fatores que, no caso de um empreendimento habitacional de interesse social, como o projeto em questão, são mandatórios na definição da escolha do melhor partido. Desta forma, as informações obtidas para as categorias de impacto da ACV realizada.

A função a ser analisada (etapa I.5) pela Avaliação do Ciclo de Vida consistiu no fornecimento de água quente em volume suficiente para um banho em qualquer chuveiro instalado na edificação após longo período de inatividade do sistema de aquecimento.

O período de inatividade configura-se importante para que se tenha a dimensão da energia efetivamente necessária para se aquecer a água da temperatura ambiente local até a temperatura necessária ao banho.

A unidade funcional para o estudo configura-se como uma unidade de desempenho, fixada conforme os parâmetros necessários à análise. Em consonância ao exposto, definiu-se a unidade funcional como o “volume de água à temperatura de 40°C, necessário a um banho com duração média de 5 minutos, em um chuveiro instalado no sistema, durante um tempo de vida útil estimado em 25 anos”.

Nesta definição considerou-se o consumo de água e energia para elevação da temperatura ambiente para a temperatura de utilização, bem como os materiais necessários a este processo.

## **5.2. FASE II: INTERPRETAÇÃO (A) - STAKEHOLDERS**

Após as definições descritas na Fase I, cabe a avaliação da importância e validação do estudo pelas partes interessadas, os denominados *stakeholders*. Para a aplicação descrita, esta etapa não foi realizada, tendo em vista que os projetos apresentados não foram submetidos a uma efetiva tomada de decisão por parte de qual partido deveria ser tomado no caso das instalações de água quente das edificações. A etapa, contudo, fica registrada como importante e necessária a um processo de avaliação efetivamente empregado como fator de tomada de decisão de projeto.

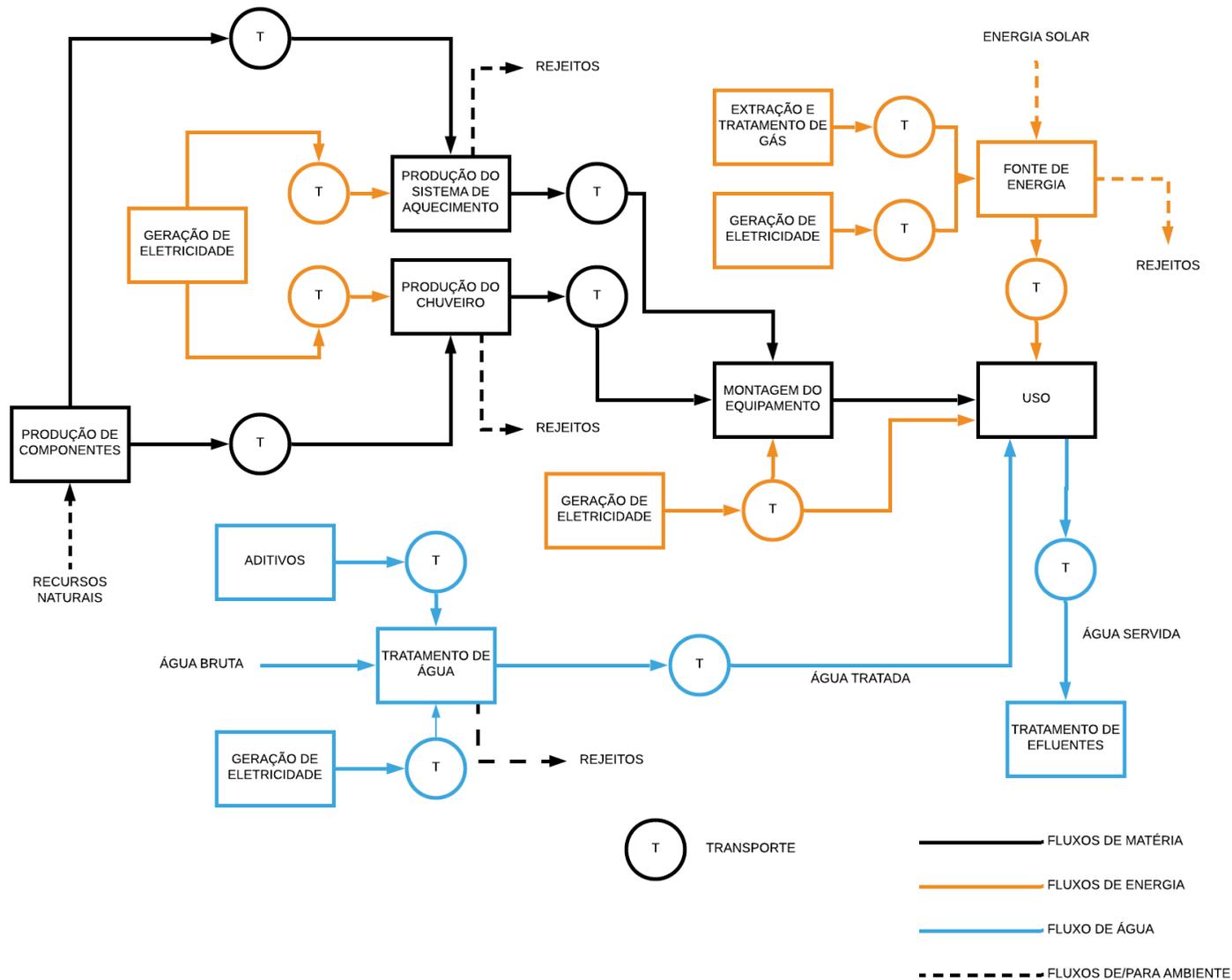
Admite-se, desta forma, a validação da importância e necessidade do estudo ao empreendimento em questão.

### **5.3. FASE III: AVALIAÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO (B) – SISTEMA DE PRODUTO, ENTRADAS E SAÍDAS**

Definiu-se, a partir da bibliografia e de conhecimento específico da área, o sistema de produto a ser aplicado para cada uma das duas tipologias de Sistemas Prediais de Água Quente.

Os sistemas de produto foram baseados na definição da existência de fase pré-operacional (composta pelos ciclos de vida de produção e transporte dos materiais componentes dos sistemas prediais) e pela efetiva construção dos sistemas, bem como dos recursos energéticos empregados nos processos relacionados à obtenção destes materiais; e uma fase operacional, composta pelos processos relacionados à utilização dos sistemas, considerando consumo de recursos e efluentes relacionados. Um sistema de produto geral de fornecimento de água para banho é representado pela figura 24, na página seguinte.

O sistema apresentado demonstra os processos envolvidos no fornecimento de água quente para banho em instalações residenciais, evidenciando as necessidades de produção dos materiais componentes do sistema através do beneficiamento de recursos naturais e manufatura de produtos, a geração de energia para estes processos e para a própria utilização do sistema construído, a qual pode ser elétrica, gás ou termo solar, o tratamento e fornecimento de água para o aquecimento e os rejeitos oriundos dos processos bem como a coleta e tratamento da água servida após o banho.

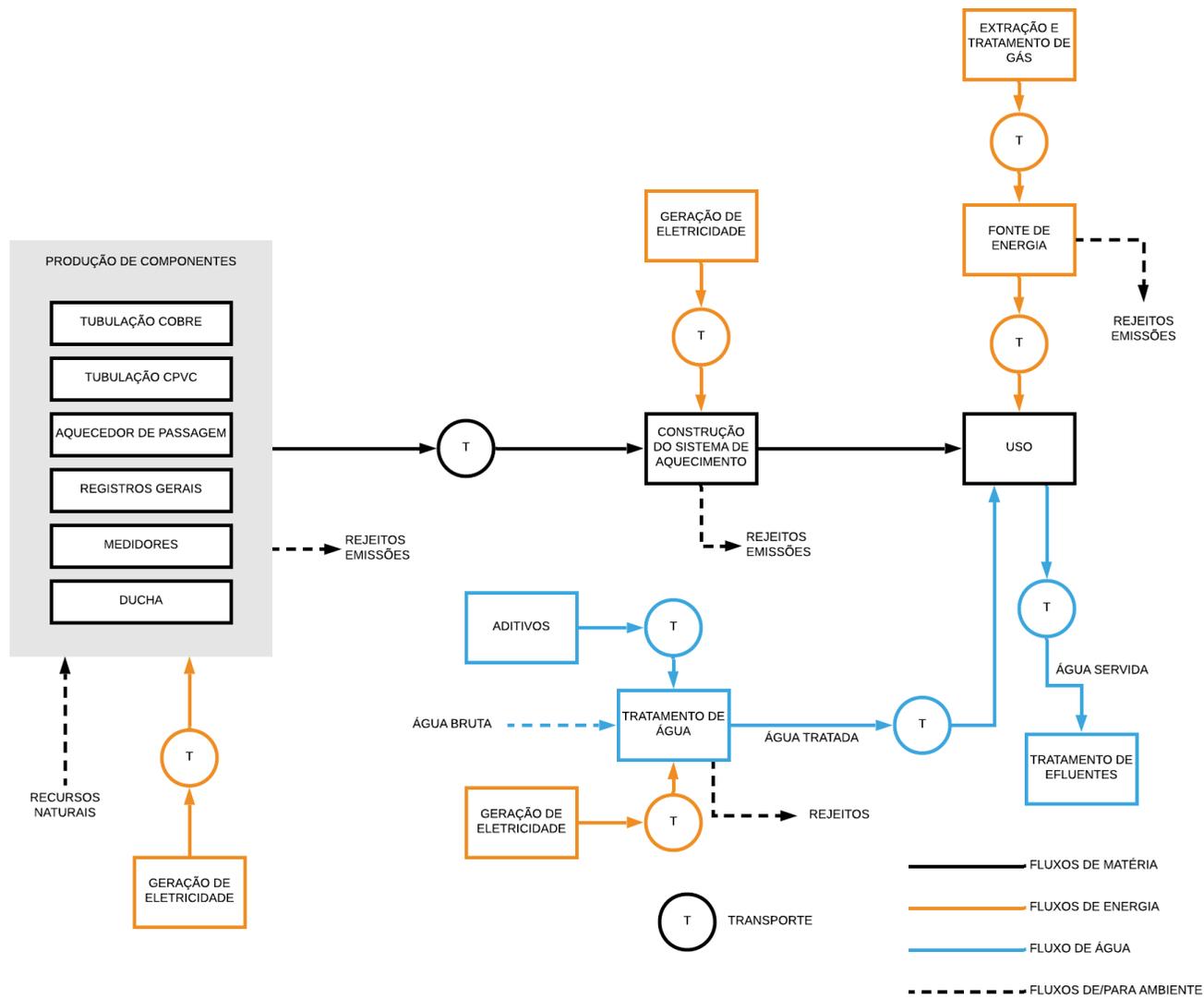


**Figura 24: Sistema de produto/processo de fornecimento de água quente para banho. Adaptado de KULAY; VIÑAS e HESPANHOL, 2015**

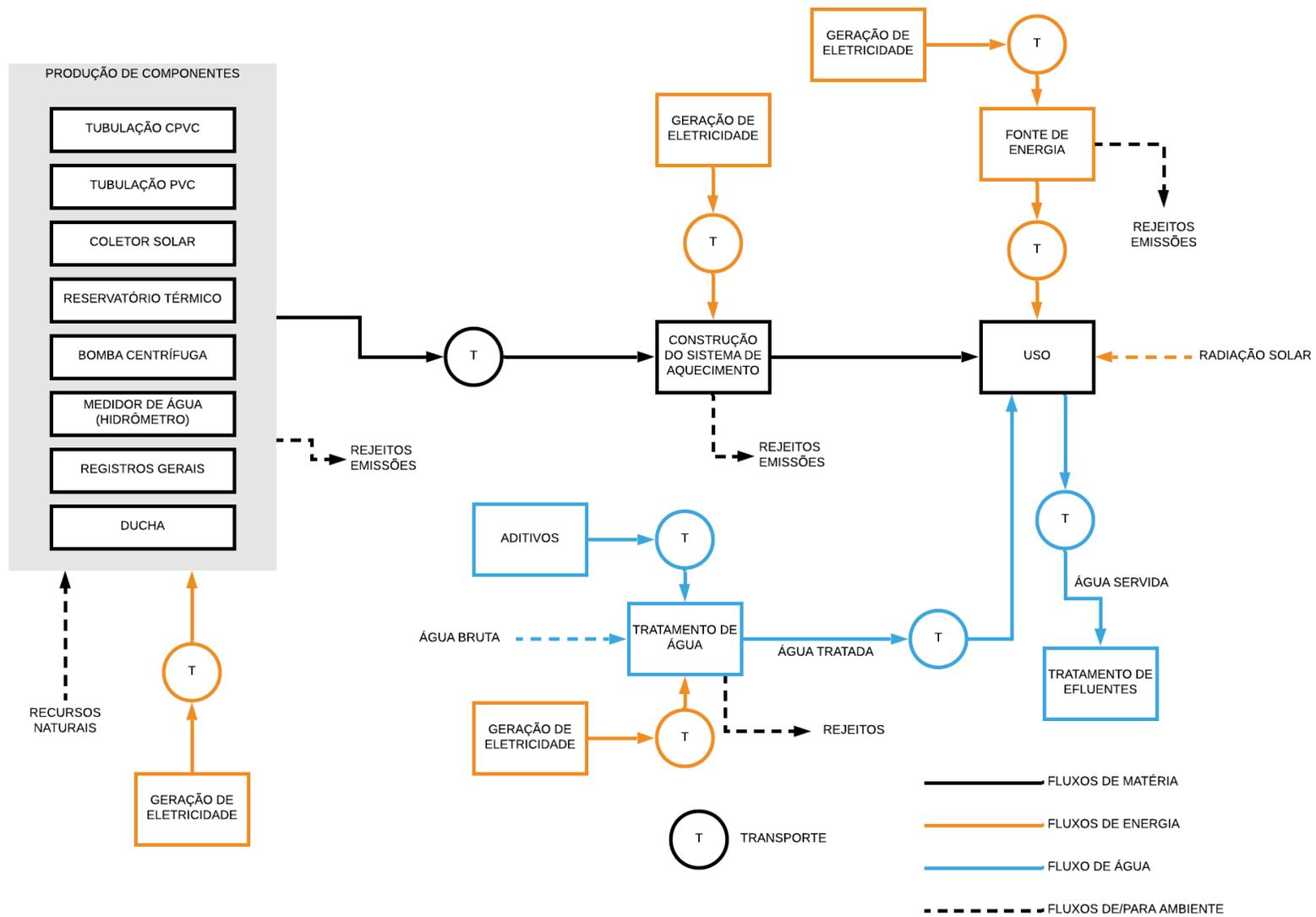
O sistema de produto desenvolvido para o Sistema Predial de Água Quente com aquecimento via Gás Natural, analogamente ao sistema geral apresentado na figura 24, demonstra as etapas de obtenção dos materiais constituintes (considerados aqui as tubulações de transporte de gás e água aquecida, os aparelhos aquecedores, aparelhos medidores e de fechamento e chuveiro), transportes, energia e rejeitos relacionados, a etapa de construção do sistema e a etapa de utilização, considerando nesta o consumo energético e de recursos. Conforme relatado anteriormente, não são contemplados os processos relacionados ao fim de vida e descarte.

Com relação ao sistema de produto construído para o SPAQ com aquecimento via termo solar e complementação por energia elétrica, a configuração dos processos foi semelhante, observando-se alterações nos produtos necessários à construção do sistema e na fonte energética (no caso apresentado são consideradas as tubulações de CPVC para circulação e distribuição de água quente, PVC para alimentação dos reservatórios com água fria potável, coletores solares, reservatórios térmicos, bombas de circulação, medidores de água dos apartamentos, registros gerais de fechamento e chuveiro para banho), que, neste caso, é alterada para radiação solar conjugada com eletricidade para redundância dos reservatórios térmicos em períodos de pouca insolação e para alimentação das bombas centrífugas de circulação do líquido aquecido pelos arranjos de coletores.

As figuras apresentadas nas páginas seguintes (figura 25 e figura 26) ilustram os sistemas de produto considerados para ambos os sistemas prediais produto de comparação, levando em consideração fase pré-operacional e operacional e ciclo de vida de componentes, bem como consumo de recursos,



**Figura 25: Sistema de Produto SPAQ com aquecimento a Gás Natural**



**Figura 26: Sistema de Produto SPAQ com aquecimento Termo Solar e redundância Elétrica**

Após a determinação dos sistemas de produto, o estudo segue com a etapa de determinação dos fluxos de referência, relacionados aos *inputs* e *outputs* dos processos envolvidos nos sistemas propostos, os quais se relacionam diretamente com os materiais necessários ao sistema e seu funcionamento ou estão relacionados aos recursos energéticos atrelados ao funcionamento (tais como consumo de água, energia para aquecimento por fonte a gás ou elétrica, consumo de materiais de construção para instalação).

Os fluxos de referência para os sistemas são relacionados aos produtos, serviços e energia que compõem os *inputs* e *outputs* do sistema de produto, bem como intervenções ambientais relacionadas aos mesmos. Os principais fluxos analisados encontram-se relacionados no quadro a seguir.

**Quadro 16: Descrição dos fluxos de referência considerados na aplicação da ACV**

ITEM	DESCRIÇÃO
<b>FASE PRÉ-OPERACIONAL E DE FABRICAÇÃO</b>	
Materiais de construção do sistema e os processos e energia relacionados à sua fabricação e transporte até a construção do sistema predial	Tubulações, reservatórios, medidores, coletores solares, chuveiros, aquecedores de passagem, aquecedores de acumulação e outros materiais levantados em projeto
Energia empregada na construção	Energia e processos dispendidos para a construção dos sistemas
Intervenções ambientais inerentes aos processos e produtos levantados	Impactos de consumo de recursos e emissões dos processos relacionados ao ciclo de vida dos materiais

**Continuação do Quadro 16: Descrição dos fluxos de referência considerados na aplicação da ACV**

ITEM	DESCRIÇÃO
<b>FASE OPERACIONAL</b>	
Energia e água consumidas	Energia consumida para aquecimento durante o uso, água consumida para utilização, perdas, entre outros
Intervenções ambientais relacionadas ao uso	Emissões, consumo de recursos, ocupação espacial e outros elementos relacionados aos sistemas de água quente em funcionamento

O detalhamento dos valores dos fluxos de referência e alocação dos dados coletados nos mesmos encontra-se descrito na etapa de inventário do ciclo de vida.

Por fim, a etapa deve analisar os requisitos dos dados coletados importantes ao estudo. Retomando o quadro 4, do capítulo 2, os requisitos de dados estão relacionados a exigências de qualidade do material coletado a fim de garantir confiabilidade de resultados.

Foram definidos que requisitos importantes para os dados coletados pelo estudo são área geográfica, tecnologias cobertas, precisão, completeza e representatividade dos dados, fontes dos dados e sua representatividade e incerteza da informação.

A área geográfica se configura importante na medida em que os projetos de instalações são fortemente influenciados por condições locais. Por exemplo, para o caso do sistema predial de água quente com aquecimento termo solar, a irradiação local é a principal fonte energética e este fator está intimamente ligado com a localização geográfica, denotando diferentes resultados de consumo de material para absorção de calor (áreas de coletores) e consequente consumo energético para complementação da demanda do sistema.

Além do exposto, condições climáticas também estão associadas a determinação da demanda energética do sistema, tendo em vista que a energia necessária para aquecimento é tão maior quanto menor for a média de temperatura ambiente diária do local de instalação.

O sistema por aquecimento a gás também possui forte influência geográfica, na medida em que a disponibilidade de gás natural está associada à localização do empreendimento.

O consumo de energia elétrica e água, ainda, tem seu ciclo de vida distinto dependendo da localidade, tendo em vista a matriz energética e perfil de coleta e tratamento de água da região de implantação do projeto.

Desta forma, procurou-se utilizar o maior número de dados locais possível em fase de inventário.

Outro requisito importante ao estudo consiste das tecnologias cobertas pelos dados coletados. Tendo em vista que os sistemas prediais são obtidos a partir de materiais de construção produto de processos industriais, se torna imprescindível que tais processos sejam traduzidos no sistema de produto e nos dados coletados como sendo os de fato utilizado pela cadeia produtiva do material de construção, evitando utilizar processos obsoletos ou pouco utilizados na prática.

Para este quesito, o inventário deve se basear em pesquisa bibliográfica e pesquisa de mercado, a fim de obter informações mais precisas acerca da cadeia produtiva dos materiais.

Um terceiro requisito está relacionado à precisão, completeza e representatividade dos dados. Para os dados coletados para o consumo de materiais dos sistemas prediais deve-se ter fidelidade ao que se pretende executar como instalação, na fase de construção. Para tanto, a utilização de modelagem BIM se tornou crucial para obtenção de levantamentos quantitativos verossímeis.

Além do exposto, dados de consumo de matéria-prima para confecção dos materiais utilizados na montagem dos sistemas devem ser objeto de consulta em modelos de mercado e suas especificações técnicas.

A completeza deve ser obtida a partir do levantamento do maior número de informações possíveis acerca dos dados a serem empregados nos fluxos elementares dos processos. Definiu-se a necessidade de, na etapa de inventário, buscar englobar o máximo de processos relacionados à construção e à obtenção dos materiais, a fim de se aproximar os resultados da realidade.

Outro requisito consiste das fontes de dados e sua representatividade. A natureza dos dados obedece, para o estudo, quatro fontes principais: os projetos aplicados ao empreendimento, o mercado de produção dos componentes levantados nestes projetos, a bibliografia relacionada aos materiais e processos empregados e à base de dados utilizada, a fim de que se obtenha dados precisos dentro da realidade do projeto.

A base de dados definida foi o Ecoinvent, largamente utilizado para estudos de ACV pela comunidade acadêmica.

Por fim, considerou-se requisito importante a incerteza da informação. Em consideração ao exposto, é notório que, para o caso em estudo, a cobertura de todos os processos e requisitos se torna tarefa de difícil alcance, tendo em vista que envolve inúmeras cadeias produtivas e processos específicos, dos quais muitos não estão disponíveis para informação no Brasil. Além do exposto, a própria utilização de dados considerados de “mercado mundial” pela base de dados atribui incertezas aos *outputs* obtidos, as quais foram consideradas em avaliação dos resultados.

#### **5.4. FASE IV: INTERPRETAÇÃO B – VALIDAÇÕES DE OBJETIVO E ESCOPO**

Após o fim das determinações de objetivo e escopo, se faz necessária validação dos sistemas de produto construídos, fator que pode se dar, por exemplo por consulta bibliográfica. Desta forma, submeteu-se cada sistema a avaliação comparativa com outros projetos semelhantes realizados e com bibliografia de elaboração de projetos de sistemas prediais e normas relacionadas, a fim de que os componentes considerados fossem válidos.

Com relação aos requisitos de dados determinados, verificou-se, nesta fase, a disponibilidade dos dados para coleta.

Desta forma, foi levantado que, para aplicação dos processos de produção dos materiais componentes do sistema predial, no mercado brasileiro, não existem bases de dados que cubram suficientemente toda a cadeia. Optou-se pela utilização do mercado global, dentro do Ecoinvent, a fim de aproximação, atrelado à busca dos processos em fontes de produtores nacionais, para confirmação.

Leva-se em consideração ainda, que os impactos caracterizados nas respectivas categorias, ao final do processo de análise, não têm consideração de fatores como transporte local, uma vez que tais dados são muito relativos à localidade e não foi possível obtê-los, fator que gera incertezas de resultados.

Outra importante ponderação acerca dos dados disponível consiste no fator temporal aplicado ao estudo. Tendo em vista um tempo de vida útil de 25 anos, se faz necessária desconsideração de alterações do perfil de consumo, da cadeia produtiva de bens e energia e de fatores climáticos diretamente ligados à produção de energia pelo sistema termo solar, produzindo ainda mais incertezas nos dados coletados.

Por fim é importante salientar que algumas aproximações e deduções foram necessárias à coleta e tratamento dos dados, tendo em vista o perfil do estudo. Desta forma, a demanda de água para banho, por exemplo, foi considerada média semanal, assim como o tempo de utilização e a demanda de calor, uma vez que tais fatores estão intimamente ligados a aspectos culturais do usuário e a características sazonais e climáticas (em dias de temperatura elevada no verão, por exemplo, dificilmente a população do empreendimento utilizará água quente, fator que foi desconsiderado na coleta de dados).

Desta forma, considera-se, dadas as ressalvas, a disponibilidade de dados para continuação do estudo.

## **5.5. FASE V: ELABORAÇÃO DE PROJETOS DOS SISTEMAS EM CARÁTER PRELIMINAR**

Foram elaborados estudos preliminares de instalação para os dois casos de estudo, a instalação do Sistema de Água Quente por Aquecimento a Gás e via Aquecimento Termo Solar.

Para o dimensionamento dos projetos para os sistemas de distribuição de água quente e aquecimento de água das edificações, considerou-se um chuveiro por apartamento, conforme demonstra-se nas plantas baixas detalhadas da arquitetura disponíveis no Anexo A deste caderno.

Os tópicos a seguir descrevem o memorial de cálculo e considerações para o dimensionamento de ambos os sistemas desenvolvidos.

### **5.5.1. MEMORIAL DE CÁLCULO PARA SPAQ COM AQUECIMENTO VIA GÁS NATURAL**

#### **5.5.1.1. DESCRIÇÃO E PARÂMETROS DO PROJETO**

O projeto do sistema de aquecimento de água para banho para complexo de edificações residenciais multifamiliares com abastecimento a Gás Natural (GN), é estruturado de forma que o abastecimento se dê pela ligação do sistema com a rede pública da concessionária local, instalada no logradouro público.

A partir da alimentação geral, é realizada medição individualizada do consumo de gás para aquecimento de cada unidade residencial pertencente ao conjunto de edificações.

O referido conjunto consiste em cinco edificações, com interligação por acessos internos e corredores interligados nos pavimentos, as quais contam com térreo e três pavimentos tipo, além de cobertura com previsão de reservatório superior e área técnica. As unidades habitacionais possuem duas tipologias distintas, de 01 e 02 quartos, totalizando 116 unidades distribuídas entre os blocos.

O sistema de aquecimento a gás para o conjunto habitacional será constituído de aquecedores de passagem individuais, tornando o aquecimento privado e independente para cada morador.

#### 5.5.1.2. DIMENSIONAMENTO DA POTÊNCIA COMPUTADA

A rede de distribuição interna será dimensionada para um aparelho de aquecimento de água a gás de passagem, ou seja, sem reservatório de água aquecida, a ser instalado em cada unidade de apartamento, independentemente da tipologia do mesmo.

A rede de distribuição interna conta com prumada independente para cada apartamento, desta forma, o número de prumadas corresponde ao número de aparelhos aquecedores, de forma que a medição será realizada individualmente por armário de medidores localizado na área comum do pavimento térreo.

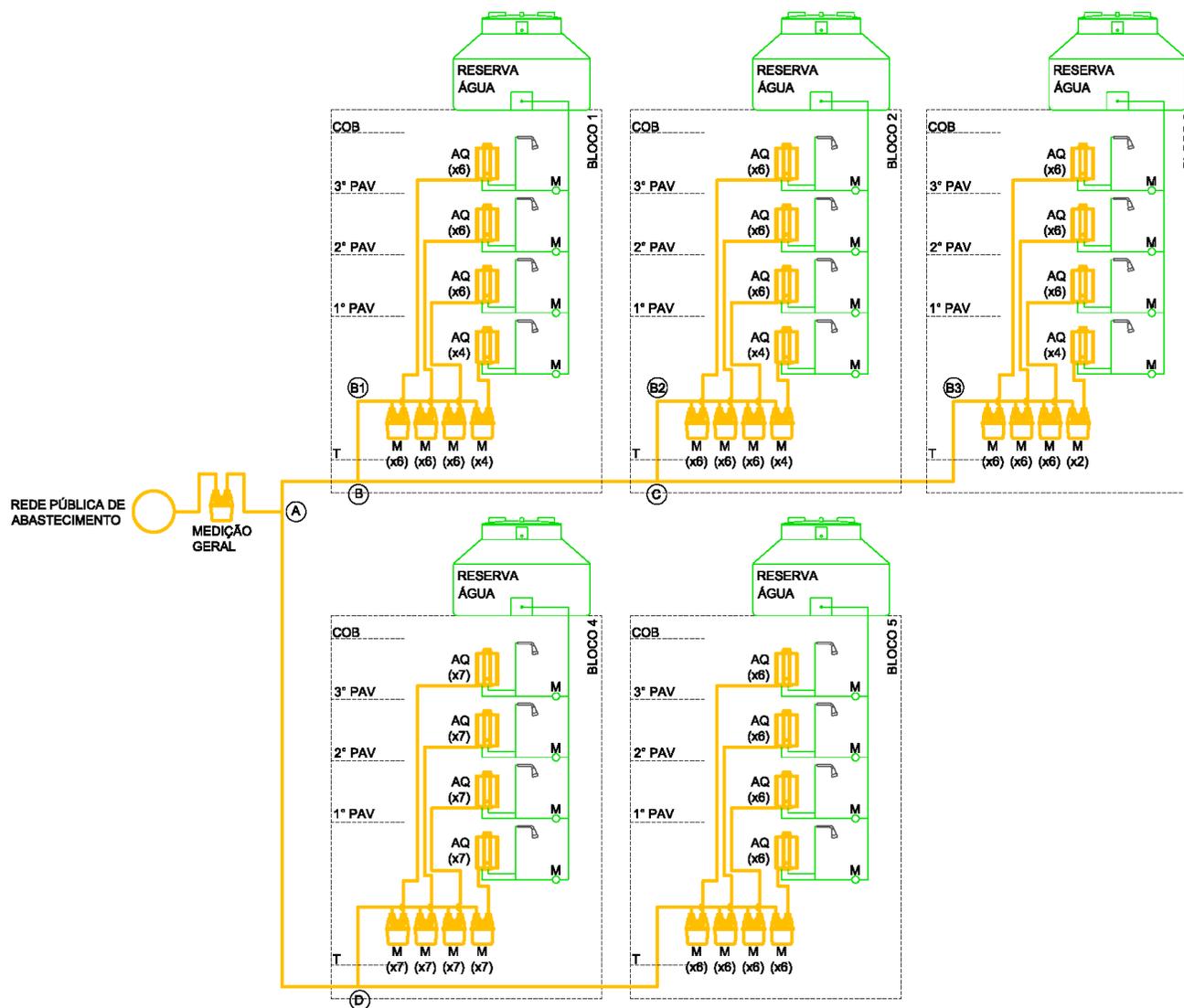
A potência nominal de cada aquecedor de passagem é obtida a partir das especificações técnicas do aquecedor de passagem modelo M09, fabricante Rinnai, conforme quadro a seguir, destacando-se as características para gás natural, o qual será utilizado no projeto em questão.

**Quadro 17: Especificações técnicas modelo comercial de Aquecedor de Passagem**

<b>TIPO DE GÁS</b>	GLP	<b>GN</b>
<b>CONSUMO MÁXIMO DE GÁS</b>	13200 (kcal/h)	<b>13400</b> <b>(kcal/h)</b>
<b>VAZÃO APROXIMADA DE ÁGUA 20° (COM MISTURADOR)</b>	9 l/min	<b>9 l/min</b>
<b>RENDIMENTO (%)</b>	82%	<b>82%</b>

***Adaptado de RINNAI, [s.d.].***

A seguir, é demonstrado o diagrama esquemático para a instalação com a especificação dos ramais, derivações, prumadas e aparelhos consumidores.



**Figura 27: Arranjo esquemático da instalação de SPAQ com aquecimento via Gás Natural para o empreendimento**

A potência computada é dada pela soma das potências dos aquecedores nos ramais individuais, desta forma, tem-se, pela tabela a seguir, para cada edificação, a potência computada total.

**Tabela 2: Dimensionamento da potência computada de GN por trecho**

RAMAL	Nº APTOS	RAMAL UNITÁRIO		RAMAL DE ALIMENTAÇÃO	
		kcal/h	kcal/min	kcal/h	kcal/min
B1	22	13.400	223	294.800	4.906
B2	22	13.400	223	294.800	4.906
B3	20	13.400	223	268.000	4.460
B4	28	13.400	223	375.200	6.244
B5	24	13.400	223	321.600	5.352
<b>RAMAL DE ENTRADA</b>				1.554.400	1.868

### 5.5.1.3. DIMENSIONAMENTO PRÉVIO DOS TRECHOS PELO MODELO RIP/CEG RIO DE JANEIRO

Considerando se tratar de projeto preliminar, uma vez que ainda deverá ser decidido o conceito de sistema de aquecimento a ser utilizado para as edificações, parte-se do princípio que um dimensionamento inicial das tubulações deve ser realizado, a fim de que uma relação de materiais primária seja obtida e possa ser utilizada como fator de tomada de decisão técnico-econômica-ambiental.

Desta forma, anteriormente ao dimensionamento fino do sistema pela pressão máxima admissível por trecho de tubulação, combinada com a vazão de demanda de gás para o trecho, faz-se dimensionamento preliminar pela adoção de metodologia disponível no Regulamento de Instalações Prediais da concessionária. (CEGRIO, 1997)

**Tabela 3: Dimensionamento de Tubulações para Edificações com Ramificações Primárias e Secundárias**

<b>W = 10.000 kcal/m<sup>3</sup></b>						
<b>D (mm)</b>	<b>15</b>	<b>22</b>	<b>28</b>	<b>35</b>	<b>42</b>	<b>54</b>
<b>L (m)</b>	<b>CONSUMO EM kcal/min</b>					
1	672	1755	3346	5888	9640	18880
2	475	1241	2366	4163	6816	13350
3	388	1013	1931	3399	5565	10900
4	336	877	1673	2944	4820	9440
5	300	785	1496	2633	4311	8443
6	274	716	1366	2403	3935	7707
7	254	663	1264	2225	3643	7136
8	237	620	1183	2081	3408	6675
9	224	585	1115	1962	3213	6293
10	212	555	1058	1862	3048	5970
11	202	529	1008	1775	2906	5692
12	194	506	965	1699	2782	5450
13	186	486	928	1633	2673	5236
14	179	469	894	1573	2576	5045
15	173	453	863	1520	2489	4874
16	168	438	836	1472	2410	4720
17	163	425	811	1428	2338	4579
18	158	413	788	1387	2272	4450
19	154	402	767	1350	2211	4331
20	150	392	748	1316	2155	4221
25	134	351	669	1177	1928	3776
30	122	320	610	1075	1760	3447
35	113	296	565	995	1629	3191
40	106	277	529	931	1524	2985
45	100	261	498	877	1437	2814
50	95	248	473	832	1363	2670
55	90	236	451	794	1299	2545
60	86	226	431	760	1244	2437
65	83	217	415	730	1195	2341
70	80	209	399	703	1152	2256
75	77	202	386	679	1113	2180
80	75	196	374	658	1077	2110
85	72	190	362	638	1045	2047
90	70	185	352	620	1016	1990
<b>95</b>	<b>69</b>	<b>180</b>	<b>343</b>	<b>604</b>	<b>989</b>	<b>1937</b>

**Continuação da Tabela 3: Dimensionamento de Tubulações para Edificações com Ramificações Primárias e Secundárias**

<b>W = 10.000 kcal/m<sup>3</sup></b>						
<b>D (mm)</b>	<b>15</b>	<b>22</b>	<b>28</b>	<b>35</b>	<b>42</b>	<b>54</b>
<b>L (m)</b>	<b>CONSUMO EM kcal/min</b>					
<b>100</b>	67	175	334	588	964	1888
<b>110</b>	64	167	319	561	919	1800
<b>120</b>	61	160	305	537	880	1723
<b>130</b>	59	154	293	516	845	1655
<b>140</b>	56	148	282	497	814	1595
<b>150</b>	54	143	273	480	787	1541
<b>160</b>	53	138	264	465	762	1492
<b>170</b>	51	134	256	451	739	1448
<b>180</b>	50	130	249	438	718	1407
<b>190</b>	48	127	242	427	699	1369
<b>200</b>	47	124	236	416	681	1335

**Adaptado de CEGRIO, 1997.**

Considera-se, então, o consumo demandado de gás por ramal conforme a faixa de consumo da potência computada, dada pela soma das potências individuais dos aparelhos atendidos pelo ramal, conforme NBR 15526. (ABNT, 2016)

$$C < 21.000, F = 100 \quad (1)$$

$$21.000 \leq C < 576.720, \quad (2)$$

$$F = 100 / \left[ 1 + 0,001 \left( \frac{C}{60} - 349 \right)^{0,8712} \right]$$

$$576.720 \leq C < 1.200.000, \quad (3)$$

$$F = 100 / \left[ 1 + 0,4705 \left( \frac{C}{60} - 1.055 \right)^{0,19931} \right]$$

$$C < 1.200.000, F = 23 \quad (4)$$

Onde:

C = consumo da potência computada de gás, em kcal/h;

F = fator de simultaneidade.

O dimensionamento dos trechos de tubulação presentes no projeto, conforme peças gráficas, encontra-se na tabela a seguir.

**Tabela 4: Dimensionamento dos trechos de tubulação de distribuição de GN**

TRECHO		POTÊNCIA COMPUTADA	Nº DE RAMAIS	FATOR DE SIMULTANEIDADE	POTÊNCIA DEMANDADA		VAZÃO DE GÁS		DN
					kcal/h	kcal/min	m³/h	m³/min	mm
MG	A	1.554.400	1	23,00	357.512	5.959	41,571	0,693	80
A	B	857.600	1	24,27	208.182	3.470	24,207	0,403	65
B	BL3	268.000	1	21,80	58.422	974	6,793	0,113	54
B	C	589.600	1	25,81	152.202	2.537	17,698	0,295	65
C	BL1	294.800	1	20,09	59.239	987	6,888	0,115	54
C	BL2	294.800	1	20,09	59.239	987	6,888	0,115	54
A	D	696.800	1	25,11	174.989	2.916	20,348	0,339	65
D	BL4	375.200	1	16,28	61.069	1.018	7,101	0,118	54
D	BL5	321.600	1	18,64	59.938	999	6,969	0,116	54
BL1	M	294.800	22	20,095	59.239	987	6,888	0,115	54
M	AQ-0	13.400	4	100,000	13.400	223	1,558	0,026	28
M	AQ-1	13.400	6	100,000	13.400	223	1,558	0,026	28
M	AQ-2	13.400	6	100,000	13.400	223	1,558	0,026	28

TRECHO		POTÊNCIA COMPUTADA	N° DE RAMAIS	FATOR DE SIMULTANEIDADE	POTÊNCIA DEMANDADA		VAZÃO DE GÁS		DN
					kcal/h	kcal/min	m³/h	m³/min	mm
M	AQ-3	13.400	6	100,000	13.400	223	1,558	0,026	28
BL2	M	294.800	22	20,095	59.239	987	6,888	0,115	54
M	AQ-0	13.400	4	100,000	13.400	223	1,558	0,026	28
M	AQ-1	13.400	6	100,000	13.400	223	1,558	0,026	28
M	AQ-2	13.400	6	100,000	13.400	223	1,558	0,026	28

**Continuação da Tabela 4: Dimensionamento dos trechos de tubulação de distribuição de GN**

TRECHO		POTÊNCIA COMPUTADA	N° DE RAMAIS	FATOR DE SIMULTANEIDADE	POTÊNCIA DEMANDADA		VAZÃO DE GÁS		DN
					kcal/h	kcal/min	m³/h	m³/min	mm
M	AQ-3	13.400	6	100,000	13.400	223	1,558	0,026	28
BL3	M	268.000	20	21,799	58.422	974	6,793	0,113	54
M	AQ-0	13.400	2	100,000	13.400	223	1,558	0,026	28
M	AQ-1	13.400	6	100,000	13.400	223	1,558	0,026	28
M	AQ-2	13.400	6	100,000	13.400	223	1,558	0,026	28
M	AQ-3	13.400	6	100,000	13.400	223	1,558	0,026	28
BL4	M	375.200	28	16,276	61.069	1.018	7,101	0,118	54
M	AQ-0	13.400	7	100,000	13.400	223	1,558	0,026	28
M	AQ-1	13.400	7	100,000	13.400	223	1,558	0,026	28
M	AQ-2	13.400	7	100,000	13.400	223	1,558	0,026	28

TRECHO		POTÊNCIA COMPU- TADA	N° DE RA- MAIS	FATOR DE SIMULTA- NEIDADE	POTÊNCIA DEMANDADA		VAZÃO DE GÁS		DN
					kcal/h	kcal/ min	m³/h	m³/ min	mm
M	AQ- 3	13.400	7	100,000	13.400	223	1,558	0,026	28
BL5	M	321.600	24	18,637	59.938	999	6,969	0,116	54
M	AQ- 0	13.400	6	100,000	13.400	223	1,558	0,026	28
M	AQ- 1	13.400	6	100,000	13.400	223	1,558	0,026	28
M	AQ- 2	13.400	6	100,000	13.400	223	1,558	0,026	28
M	AQ- 3	13.400	6	100,000	13.400	223	1,558	0,026	28

#### 5.5.1.4. DIMENSIONAMENTO DOS RAMAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA QUENTE

A tubulação de distribuição da água aquecida para os aparelhos de consumo, no caso do projeto em questão, os chuveiros para banho de cada apartamento, será executada em CPVC, portanto, sem isolamento, e com uma coluna exclusiva para cada apartamento.

Considerando haver apenas um chuveiro por apartamento, o pré-dimensionamento das colunas e ramais de cada unidade se torna função apenas da vazão de alimentação do chuveiro, e, a posteriori, um dimensionamento mais exato, em função da pressão necessária neste ponto para cada caminhamento de tubulação existente.

Para a vazão estipulada anteriormente de 7 litros/min (ou 0,12 l/s) para um chuveiro, e considerando a vazão de capacidade das tubulações tem-se que o diâmetro nominal preliminar para o ramal de abastecimento de água quente dos chuveiros em CPVC será de 15mm.

## **5.5.2. MEMORIAL DE CÁLCULO DO SPAQ COM AQUECIMENTO VIA TERMO SOLAR E COMPLEMENTO ELÉTRICO**

### **5.5.2.1. DESCRIÇÃO E PARÂMETROS DE PROJETO**

O aquecimento de água para o conjunto de edificações se dará a partir de captação solar com auxiliar a gás, classificado conforme NBR 15569. (ABNT, 2008)

O sistema em questão será composto de coletores solares, instalados no local mais alto da edificação para beneficiação ótima pelos raios solares, e terá abastecimento de água para aquecimento através de ramal exclusivo derivado do reservatório superior de água fria potável para cada bloco de edificação. A água será destinada ao conjunto de coletores solares através de tubulação em cobre com isolamento térmico, e será circulada de forma forçada, com bomba centrífuga de circulação.

Para a reserva de água quente será previsto reservatório térmico geral locado na cobertura, do qual derivará barrilete de abastecimento dos apartamentos, os quais terão colunas de água quente em CPVC exclusivas, com medidores de consumo.

O sistema de controle elétrico de bombeamento monitorará a temperatura mais fria vindo do boiler para a bomba e ainda da saída da água quente nas placas solares para o boiler. Sempre que detectada pelo sensor uma diferença pré-programada entre estes dois pontos a bomba será acionada e fará a troca das águas contidas nas placas pelas águas contidas no boiler, garantindo que a temperatura do fluido dentro do boiler seja a ideal para utilização pelo usuário. Em determinados períodos em que não haja incidência de raios solares concomitantemente à utilização de água quente, os sensores de temperatura internos dos boilers acionarão a alimentação dos mesmos por energia a gás para garantir o fornecimento de água em quantidade e temperatura adequadas.

A metodologia utilizada para o cálculo é definida como a “carta F”, conforme descrição da NBR 15569. (ABNT, 2008)

### 5.5.2.2. PREMISSAS GERAIS

O projeto em questão possui como premissas necessárias à elaboração os aspectos definidos pelo quadro a seguir.

**Quadro 18: Atributos de projeto SPAQ com SAS**

<b>ATRIBUTO / CARACTERÍSTICA</b>	<b>DEFINIÇÃO</b>
LOCALIZAÇÃO	Rio de Janeiro/RJ
LATITUDE	22°54'13"
LONGITUDE	43°12'35"
DEMANDA	Chuveiros com vazão de água quente de 0,12 l/s
ARRANJO	Solar central coletivo com complemento elétrico
CIRCULAÇÃO	Forçada, com bomba centrífuga
REGIME	Acumulação (reservatório térmico geral)
ARMAZENAMENTO	Convencional

### 5.5.2.3. DIMENSIONAMENTO DA DEMANDA DIÁRIA

O volume de consumo para atendimento dos pontos de utilização, levando-se em consideração a vazão para banho conforme vazão de projeto estimada em 0,12 l/s para chuveiro, é dado conforme a NBR 15569.

$$V_{consumo} = \sum (Q_{pu} \times T_u \times \text{frequência de uso}) \quad (5)$$

Onde:

$V_{consumo}$  é o volume total de água quente consumido diariamente expresso em metros cúbicos ( $m^3$ );

$Q_{pu}$  é a vazão da peça de utilização, expressa em metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ );

Tu é o tempo médio de uso diário da peça de utilização, expresso em segundos (s);

Frequência de uso é o número total de utilizações da peça por dia.

Tomando por base os valores sugeridos para o padrão de consumo dados pela NBR 15569, anexo C, os dados necessários ao cálculo são demonstrados na tabela a seguir.

**Tabela 5: Especificações de demanda do chuveiro para banho**

PEÇA	VAZÃO		CONSUMO (l/min)	CICLO DIÁRIO (minuto/pessoa)	TEMPERATURA DE CONSUMO °C
	l/s	m³/s			
Chuveiro	0,12	0,00012	7,2	5,0	39-40

Dada uma frequência 12 banhos semanais por pessoa, e considerando uma população média de 4 pessoas por apartamento, tem-se que o volume de utilização de água diário por bloco e no empreendimento, de forma geral, são dados pela tabela a seguir.

**Tabela 6: Consumo de água por bloco de edificação**

BLOCO	Nº DE APTOS	CONSUMO/ BANHO. PESSOA (m³/dia)	CONSUMO /APTO (m³/dia)	CONSUMO TOTAL (m³)
B1	22	0,123	0,49	10,86
B2	22	0,123	0,49	10,86
B3	20	0,123	0,49	9,87
B4	24	0,123	0,49	11,85
B5	28	0,123	0,49	13,82
<b>TOTAL GERAL</b>				<b>57,27</b>

#### 5.5.2.4. DIMENSIONAMENTO DO VOLUME DE ARMAZENAMENTO

Considerando variações volumétricas ocasionadas pela variação de temperatura e período ótimo de armazenamento para evitar perdas de energia pela água e seu conseqüente resfriamento, a NBR 15569, 2008, estima que o volume de armazenamento deve ser igual ou superior a 75% do volume de consumo diário, e é dado pela relação a seguir.

$$V_{armaz} = \frac{V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{ambiente})}{T_{armaz} - T_{ambiente}} \quad (6)$$

Onde:

$V_{consumo}$  é o volume de consumo diário, em  $m^3$ ;

$V_{armaz}$  é o volume do sistema de armazenamento do SAS, em  $m^3$ ;

$T_{consumo}$  é a temperatura de consumo de utilização, em  $^{\circ}C$ ;

$T_{armaz}$  é a temperatura de armazenamento de água, em  $^{\circ}C$ ;

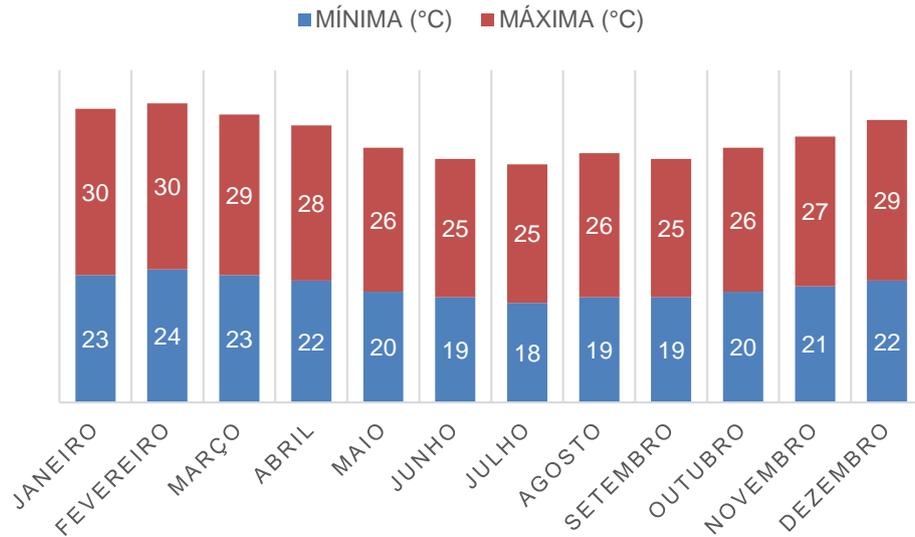
$T_{ambiente}$  é a temperatura média anual do local de instalação.

Desta forma tem-se:

$T_{consumo} = 40^{\circ}C$  conforme NBR 15569.

$T_{armaz} = 45^{\circ}C$ , considerando potencial perda de  $5^{\circ}C$  na tubulação de distribuição de água, em CPVC, para o pior caso de distância de alimentação de chuveiro.

A  $T_{ambiente}$  utilizada para efeito de cálculo deve ser considerada como a média mensal da máxima diária do mês mais frio do ano, de temperatura local, uma vez que a captação mais desfavorável e manutenção da temperatura alta da água aquecida encontra-se no período de menor insolação e com temperaturas mais amenas.



**Figura 28: Médias de temperaturas mensais mínimas e máximas para a cidade do Rio de Janeiro/RJ, série histórica de 30 anos**

**Adaptado de CLIMATEMPO, [s.d.].**

Considerando a temperatura média mensal mínima de 18°C para o mês de julho, tem-se que o volume de armazenamento é dado por:

$$V_{armaz} = \frac{V_{consumo} \times (40 - 18)}{45 - 18} = 0,815V_{consumo} \quad (7)$$

Onde:

$V_{consumo}$  é o volume de consumo diário, em m<sup>3</sup>;

$V_{armaz}$  é o volume do sistema de armazenamento do SAS, em m<sup>3</sup>.

Dados os volumes de consumo por bloco, o quadro a seguir descreve o volume de armazenamento para cada edificação do empreendimento e a respectiva configuração dos reservatórios a ser utilizada conforme pesquisa de equipamentos disponíveis no mercado.

**Quadro 19: Especificações de reservação do SAS por bloco de edificação**

BLOCO	VOLUME DE CONSUMO (m <sup>3</sup> /dia)	VOLUME DE RESERVA (m <sup>3</sup> /dia)	CONFIGURAÇÃO
B1	10,86	8,85	2 reservatórios de 5 m <sup>3</sup>
B2	10,86	8,85	2 reservatórios de 5 m <sup>3</sup>
B3	9,87	8,05	2 reservatórios de 5 m <sup>3</sup>
B4	11,85	9,65	3 reservatórios de 4 m <sup>3</sup>
B5	13,82	11,26	2 reservatórios de 5 m <sup>3</sup> e 1 reservatório de 3 m <sup>3</sup>

### 5.5.2.5. CÁLCULO DA DEMANDA DE ENERGIA ÚTIL E PERDAS

A energia útil do sistema é dada pela relação a seguir, conforme NBR 15569:

$$E_{\text{útil}} = V_{\text{armaz.}} \times \rho \times C_p \times \frac{(T_{\text{armaz}} - T_{\text{amb}})}{3600} \quad (8)$$

Onde:

$\rho$  = massa específica da água em Kg/m<sup>3</sup>.

$C_p$  = calor específico da água em Kj/Kg.

Considerando ainda as perdas como 15% da energia útil armazenada, tem-se, na tabela a seguir, a energia útil armazenada para cada bloco de edificação, a energia perdida e a energia total de geração necessária ( $E_{\text{útil}} + E_{\text{perdas}}$ ).

**Tabela 7: Demanda de energia total gerada para o SAS por bloco de edificação**

BLOCO	VOLUME ARMAZ.(m <sup>3</sup> )	ENERGIA ÚTIL (kWh)	PERDAS DE ENERGIA (kWh)	DEMANDA DE ENERGIA GERADA (kWh)
B1	10	313,50	47,03	360,53
B2	10	313,50	47,03	360,53
B3	10	313,50	47,03	360,53
B4	12	376,20	56,43	432,63
B5	13	407,55	61,13	468,68

#### 5.5.2.6. DIMENSIONAMENTO DA ÁREA COLETORA

A área coletora é dada, conforme a NBR 15569, por:

$$A_{coletora} = \frac{((E_{\acute{u}til} + E_{perdas}) \times FC_{instal} \times (4,901))}{PMDEE * I_g} \quad (9)$$

Onde:

Acoletora é a área coletora, expressa em metros quadrados (m<sup>2</sup>);

E<sub>útil</sub> é a energia útil, em quilowatts hora por dia (kWh/dia);

E<sub>perdas</sub> é o somatório das perdas térmicas dos circuitos primário e secundário, expresso em quilowatts hora por dia (kWh/dia), calculada pela soma das perdas ou dada por 15% do valor da energia útil, conforme norma;

FC<sub>instal</sub> é o fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar;

PMDEE é a produção média diária de energia específica do coletor solar, expressa em quilowatts hora por metro quadrado (kWh/m<sup>2</sup>);

I<sub>g</sub> é o valor da irradiação global média anual para o local de instalação, expresso em quilowatts hora por metro quadrado dia (kWh/m<sup>2</sup>.dia).

### 5.5.2.7. IRRADIAÇÃO GLOBAL MÉDIA ANUAL LOCAL

Conforme estação solarimétrica de medição da radiação local instalada no Forte de Copacabana, município do Rio de Janeiro, RJ, com latitude fixada em -22,9883° e longitude correspondente a -43,1901°, tem-se, através dos dados obtidos pelo Atlas Solarimétrico do Estado do Rio de Janeiro, a irradiação solar global média mensal para a referida estação descrita no quadro a seguir.

**Tabela 8: Irradiação solar média mensal para a cidade do Rio de Janeiro**

ESTAÇÃO		FORTE DE COPACABANA	
LATITUDE		-22,9883	
LONGITUDE		-43,1901	
MÊS	IRRADIAÇÃO GLOBAL (kW/m <sup>2</sup> .dia)	MÊS	IRRADIAÇÃO GLOBAL (kW/m <sup>2</sup> .dia)
Janeiro	5,75	Julho	3,25
Fevereiro	6,75	Agosto	4,00
Março	4,25	Setembro	4,75
Abril	4,00	Outubro	4,75
Mai	3,50	Novembro	5,00
Junho	3,00	Dezembro	6,00
Média Anual			<b>4,58</b>

*Adaptado de IEPUC, 2016*

Desta forma tem-se que  $I_g = 4,58 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$

### 5.5.2.8. PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA DE ENERGIA

A produção média diária de energia para os coletores fixos planos, é dada pela relação a seguir, segundo a NBR 15569.

$$PMDEE = 4,901 \times (Fr\pi\alpha - 0,0249 \times Frul) \quad (10)$$

Onde:

PMDEE = Produção Média Diária de Energia, em kcal;

$F_{rta}$  = coeficiente de ganho do coletor solar;

$F_{rUL}$  = coeficiente de perda do coletor solar.

Para determinação dos coeficientes descritos, pode-se realizar dimensionamento empírico ou dados dos produtos disponíveis no mercado. Neste intuito, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) realiza publicação de eficiência energética e consumo de coletores solares disponíveis no mercado. (INMETRO, 2018)

Dentre os coletores disponíveis para consulta com tabela de dados de 2018, selecionou-se o modelo FCC220-2V do fabricante Heliotek (grupo Bosch), classificado com rendimento A pelo selo de desempenho. As especificações técnicas do referido modelo encontram-se no quadro a seguir.

**Tabela 9: Especificações Coletor Solar comercial utilizado no projeto**

<b>EMPRESA</b>		Heliotek
<b>MODELO</b>		FCC220-2V
<b>APLICAÇÃO</b>		Banho
<b>PRESSÃO DE FUNCIONAMENTO</b>	<b>kPa</b>	600
	<b>mca</b>	61
<b>ÁREA EXTERNA DO COLETOR</b>		2,08
<b>PRODUÇÃO MÉDIA MENSAL DE ENERGIA</b>	<b>POR COLETOR (kWh/mês)</b>	199,90
	<b>POR m<sup>2</sup> (kWh/mês.m<sup>2</sup>)</b>	96,20
<b>EFICIÊNCIA ENERGÉTICA MÉDIA (%)</b>		71,06
<b>MATERIAL SUPERFÍCIE ABSORVEDORA</b>		Alumínio
<b>Fr(ta)n</b>		0,831
<b>FrUL</b>		3,71

Considerando os dados coletados, tem-se que:

$$PMDEE = 4,901 \times (0,831 - 0,0249 \times 3,71) \quad (11)$$

$$PMDEE = 3,62 \frac{kWh}{m^2} \cdot dia \quad (12)$$

#### 5.5.2.9. FATOR DE CORREÇÃO PARA INCLINAÇÃO E ORIENTAÇÃO DO COLETOR SOLAR

Conforme NBR 15569, o fator de correção para inclinação e orientação do coletor é dado pela relação:

$$FC_{instal} = \frac{1}{1 - (1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{ótimo})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \gamma^2)} \quad (13)$$

Onde:

$\beta$  = inclinação do coletor com relação ao plano horizontal (°);

$\beta_{ótimo}$  = inclinação ótima do coletor com relação ao plano horizontal (°);

$\gamma$  = ângulo azimutal de superfície, ou ângulo formado entre a direção norte-sul e a projeção no plano horizontal da reta normal à superfície do coletor solar.

A inclinação com relação ao plano horizontal, para os coletores em questão, será dada como igual à inclinação ótima, uma vez que as coberturas das edificações não contam com telhas, e sim com uma área técnica executada em laje impermeabilizada, o que possibilita a instalação dos coletores com ângulos variados. Desta forma, para o caso do projeto,  $\beta = \beta_{ótimo}$ .

O ângulo ótimo para o posicionamento dos coletores com relação à horizontal, é dado segundo critério de favorecimento do inverno, conforme Manual de Capacitação em Projetos de Sistemas de Aquecimento Solar

(ABRAVA, 2008). Tal critério é utilizado devido a uma maior demanda de água quente no inverno e, em contrapartida, de temperaturas médias mais baixas.

Desta forma, tem-se:

$$\beta_{ótimo} = |\varphi| + 10^\circ \quad (14)$$

Onde

$\varphi$  é a latitude local.

$$\beta_{ótimo} = 22,99^\circ + 10^\circ = 33^\circ \quad (15)$$

Considerando um ângulo de instalação de  $45^\circ$ , para facilidade de execução e captação solar, tem-se que os fatores de correção da inclinação e orientação serão dados em função de:

$$FC_{instal} = \frac{1}{1 - (1,2 \times 10^{-4} \times (45^\circ - 33^\circ)^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \gamma^2)} \quad (16)$$

Com relação ao ângulo azimutal, para aproveitamento das áreas das coberturas de cada bloco de edificação, as placas serão instaladas paralelamente às paredes de cada edificação. Desta forma, para cada bloco, o quadro a seguir descreve o ângulo azimutal e o cálculo da área coletora.

**Tabela 10: Dimensionamento da Área coletora e número de coletores do SAS por bloco de Edificação**

BLOCO	ÂNGULO AZIMUTAL (°)	Fcinstal	ÁREA COLETORA (m <sup>2</sup> )	NÚMERO DE COLETORES
B1	12,7	1,023463	108,99	55
B2	12,7	1,023463	108,99	55
B3	0	1,017584	108,37	55
B4	18,8	1,030556	131,70	66
B5	27,9	1,046599	144,90	73

#### 5.5.2.10. DIMENSIONAMENTO DA TUBULAÇÃO DE CIRCULAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

A tubulação de circulação da água pelos coletores foi pré dimensionada em função da vazão necessária em cada coletor e da vazão máxima suportada por cada diâmetro de tubulação, a ser instalado em CPVC.

Desta forma, dado o arranjo de instalação das baterias de coletores térmicos, pôde-se determinar a vazão necessária para cada trecho de tubulação e, em comparação às vazões máximas permitidas para os diâmetros das tubulações de CPVC, conforme tabela a seguir, identificar os diâmetros prévios dos trechos de circulação entre reservatório e placas.

**Tabela 11: Velocidades e vazões máximas por diâmetro nominal de tubulação**

DIÂMETRO	VELOCIDADES MÁXIMAS		VAZÕES MÁXIMAS
	mm	pol	l/h
15	1/2	1,60	720
22	3/4	1,95	2160
28	1	2,25	4320
35	1 1/4	2,50	9000
42	1 1/2	2,50	14400
54	2	2,50	20520
66	2 1/2	2,50	32040
79	3	2,50	43200
104	4	2,50	64800

**Adaptado de ABRAVA, 2008.**

Considerando uma bateria composta por três placas solares, e mais baterias ligadas em paralelo, tem-se as vazões para os trechos das baterias de coletores e os respectivos diâmetros de tubulação conforme tabela a seguir.

**Tabela 12: Dimensionamento da tubulação de circulação pelo critério da vazão de capacidade do diâmetro nominal**

<b>NÚMERO DE BATERIAS</b>	<b>VAZÃO DEMANDADA (l/h)</b>	<b>DIÂMETRO (mm)</b>
1	720	15
2	1440	22
3	2160	22
4	2880	28
5	3600	28
6	4320	28
7	5040	35
8	5760	35
9	6480	35
10	7200	35
11	7920	35
12	8640	35
13	9360	42
14	10080	42
15	10800	42

A tubulação de distribuição da água aquecida para os aparelhos de consumo, no caso do projeto em questão, os chuveiros para banho de cada apartamento, será executada em CPVC, portanto, sem isolamento, e com uma coluna exclusiva para cada apartamento.

Considerando haver apenas um chuveiro por apartamento, o pré-dimensionamento das colunas e ramais de cada unidade se torna função apenas da vazão de alimentação do chuveiro e, a posteriori, um dimensionamento mais exato, em função da pressão necessária neste ponto para cada caminhamento de tubulação existente.

Para a vazão estipulada anteriormente de 12 litros/minuto para um chuveiro, tem-se que cada ramal de apartamento terá diâmetro inicial de 15mm. Considerando uma coluna de distribuição independente para cada pavimento das edificações, a qual se ramifica em tubulações individuais com medição exclusiva para cada apartamento, tem-se, pela tabela a seguir, o

dimensionamento das colunas de distribuição de água quente pela vazão, para os apartamentos do empreendimento.

**Tabela 13: Dimensionamento dos ramais de distribuição de água quente em CPVC**

BLOCO	COLUNA /RAMAL	N° DE CHUVEIROS	PESO RELATIVO	VAZÃO (l/s)		DN (mm)
			TOTAL	UNITÁRIA	TOTAL	
B1	RAMAL APTO	1	0,4	0,20	0,20	15
	1.1	4	1,6	0,20	0,38	22
	1.2	6	2,4	0,20	0,46	22
	1.3	6	2,4	0,20	0,46	22
	1.4	6	2,4	0,20	0,46	22
	BARRILETE	22	8,8		0,89	28
B2	RAMAL APTO	1	0,4	0,20	0,20	15
	2.1	4	1,6	0,20	0,38	22
	2.2	6	2,4	0,20	0,46	22
	2.3	6	2,4	0,20	0,46	22
	2.4	6	2,4	0,20	0,46	22
	BARRILETE	22	8,8		0,89	28
B3	RAMAL APTO	1	0,4	0,20	0,20	15
	3.1	2	0,8	0,20	0,27	22
	3.2	6	2,4	0,20	0,46	22
	3.3	6	2,4	0,20	0,46	22
	3.4	6	2,4	0,20	0,46	22
	BARRILETE	20	8		0,85	28
B4	RAMAL APTO	1	0,4	0,20	0,20	15
	4.1	7	2,8	0,20	0,50	22
	4.2	7	2,8	0,20	0,50	22
	4.3	7	2,8	0,20	0,50	22
	4.4	7	2,8	0,20	0,50	22
	BARRILETE	28	11,2		1,00	28
B5	RAMAL APTO	1	0,4	0,20	0,20	15
	5.1	6	2,4	0,20	0,46	22
	5.2	6	2,4	0,20	0,46	22
	5.3	6	2,4	0,20	0,46	22
	5.4	6	2,4	0,20	0,46	22
	BARRILETE	24	9,6		0,93	28

### 5.5.2.11. ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA DOS RESERVATÓRIOS DE ACUMULAÇÃO

Com relação ao sistema de aquecimento solar possuir a necessidade de uma alimentação energética redundante, tendo em vista que a insolação e temperatura ambiente são fatores naturais e sobre os quais não há controle ou certeza, e, portanto, não é possível garantir abastecimento adequado da demanda de volume de água quente na temperatura correta diária em todas as estações e sob diversos perfis climáticos.

Desta forma, para os sistemas projetados, opta-se pela adoção de reservatórios térmicos que possam ser abastecidos também com fonte energética elétrica, a qual é utilizada nas condições em que a radiação solar não é suficiente para atender a demanda.

Os reservatórios e suas potências computadas estão descritos na tabela a seguir. Os circuitos de alimentação bem como infraestrutura elétrica destes sistemas não serão escopos do projeto, contudo, o consumo elétrico energético será levado em consideração para a avaliação técnico-ambiental dos sistemas.

**Tabela 14: Especificações reservatório térmico comercial definido para projeto**

CAPA-CIDADE (l)	CORPO INTERNO	ISOLAMENTO TÉRMICO	DIMENSÕES (mm)	POTÊNCIA / TENSÃO (W/V)	PRESSÃO DE TRABALHO
3000	Aço Inox	Lã de vidro	DN 1120 / C 4120 / P 915	1 x 7500 W 248/380V	40 mca
4000	Aço Inox	Lã de vidro / Poliuretano	DN 1480 C 3330 P 830	6 x 7500 W 248/380V	40 mca
5000	Aço Inox	Lã de vidro / Poliuretano	DN 1480 C 3980 P 900	6 x 7500 W 248/380V	40 mca

### 5.6. FASE VI: ANÁLISE DE INVENTÁRIO

Para a análise de inventário necessária ao levantamento dos dados relacionados ao sistema de produto estudado, a fim de obter fluxos de referência para os materiais e energia relacionados aos seus processos básicos, torna-se

importante explorar todos os componentes do sistema e seus respectivos ciclos de vida.

Em consonância ao projeto desenvolvido, considera-se necessário inventariar informações referentes aos materiais de construção dos sistemas, considerando uma etapa pré-operacional, o que remonta à extração de matérias-primas, manufatura e transporte dos componentes até a construção do sistema e outra relacionada à operação propriamente dita, que envolve consumo energético durante a vida útil do sistema, eventuais manutenções e outros fatores.

Para tal, a modelagem do sistema de produto em *software* específico de Avaliação do Ciclo de Vida traz ganho de produtividade e assertividade das análises, uma vez que se pode utilizar, para o inventário, informações de bases de dados consolidadas. Para o processo, utilizou-se o *software* OpenLCA e a base de dados Ecoinvent.

Considerando as informações disponíveis de materiais e processos na base de dados, alguns processos unitários foram construídos, a partir da definição das atividades de extração, transporte e manufatura dos produtos utilizados para construção dos sistemas de água quente escopo do estudo.

Desta forma, a seguir faz-se breve descrição dos processos relacionados aos ciclos de vida dos materiais componentes dos sistemas, bem como da energia e materiais relacionados à etapa operacional dos mesmos, a fim de fomentar os processos modelados dentro do OpenLCA, os quais foram objetos da posterior análise de impactos.

#### **5.6.1. INVENTÁRIO DO SPAQ COM AQUECIMENTO VIA GÁS NATURAL**

Retomando a figura 24 a fase pré-construção para o sistema predial de água quente com aquecimento a gás constitui-se da representada por sub-sistemas de produto para os ciclos de vida dos materiais componentes do sistema predial, sua fabricação e transporte até a obra.

Os elementos constituintes, na fase de estudo preliminar de projeto, são dados conforme relação preliminar de materiais descrita no quadro a seguir, obtida através do dimensionamento dos projetos, especificação e levantamento dos materiais.

**Quadro 20: Relação de materiais instalação SPAQ com aquecimento via GN extraída do projeto da instalação**

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE
<b>1</b>	<b>TUBULAÇÕES</b>		
1.1	Tubo CPVC branco soldável DN 15mm para água quente	m	1043
1.2	Tubo Cobre Classe "A" DN 28mm	m	9661
1.3	Tubo Cobre Classe "A" DN 54mm	m	184
1.4	Tubo Cobre Classe "A" DN 65mm	m	34
1.5	Tubo Cobre Classe "A" DN 80mm	m	13
<b>2</b>	<b>EQUIPAMENTOS E ACESSÓRIOS</b>		
2.1	Aquecedor de passagem	un	116
2.2	Registro globo 1" em cobre	un	116
2.3	Medidor de gás natural	un	116
2.4	Chuveiro em ABS com acabamento cromado	un	116

De acordo com as definições do sistema de produto e suas fronteiras os componentes considerados, são: tubulação em CPVC para condução da água aquecida do aquecedor ao ponto de consumo, tubulação de cobre para condução do gás natural, aparelhos aquecedores de passagem, chuveiro instalado nos banheiros dos apartamentos, medidor de gás instalado na entrada do ramal e registro de fechamento do mesmo. Conforme relatado anteriormente, acessórios e válvulas parciais são desconsiderados na análise.

O CPVC (Policloreto de Vinila Clorado) é fabricada a partir de uma reação de cloração do composto de PVC, originando uma resina de CPVC que, após submetida à inserção de aditivos, gera um composto de CPVC, conforme consta do processo descrito por SOLORIO, 2018.

Todos os produtos que utilizam CPVC como material constituinte partem de duas matérias-primas principais: cloro e etileno. De acordo com o autor, cloro é um dos subprodutos do processamento de sal de cloro e álcalis. Etileno é extraído do petróleo que é submetido a um processo especial chamado

craqueamento<sup>7</sup>. Produtores reagem os dois materiais para formar um novo líquido químico denominado EDC (etileno diclorídrico) que, então, é desidratado em altas temperaturas até se quebrar em monômero clorado de vinila, molécula que em sua forma simplificada é instável, gasoso e não possui usos práticos.

Desta forma, torna-se necessária a produção de cadeia de moléculas a partir do monômero, o que é realizado em um reator de alta temperatura, formando cloreto de polivinila, ou PVC, que é transportado em forma de resina até os sítios de produção do composto de CPVC.

Tal composto é a base para diversos produtos que possuem o CPVC como material constituinte, dentre os quais encontra-se a tubulação. O processo de transformação do composto derretido em tubulação consiste em extrusão, em que os produtores injetam o composto de CPVC em um extrusor. (SOLORIO, 2018) Conforme manual de extrusão do fabricante de produtos poliméricos Innova, numa linha de extrusão, o material de entrada está em forma de grânulos ou pó previamente secado, o qual é esquentado através de fricção e calor e, na medida em que avança ao longo de um cilindro, a ação da rosca do extrusor sobre o fluido derretido gera a pressão necessária para o fazer sair por um bico de injeção, dando-lhe a forma desejada. O material moldado posteriormente é esfriado em rolos, cortado, empilhado ou enrolado. (INNOVA, [s.d.]) A extrusão pode gerar tubulações de diâmetros nominais comerciais diversos, dependendo da matriz ou molde que é utilizado no processo.

As conexões (tais como joelhos, curvas, tês, reduções, entre outras), válvulas e registros formados por polímeros, por sua vez, são moldados a partir de um processo de injeção. Segundo o fabricante Sylvin Technologies, a moldagem por injeção consiste num sistema em que as matérias-primas sob temperatura e pressão elevadas são injetadas em moldes independentes e

---

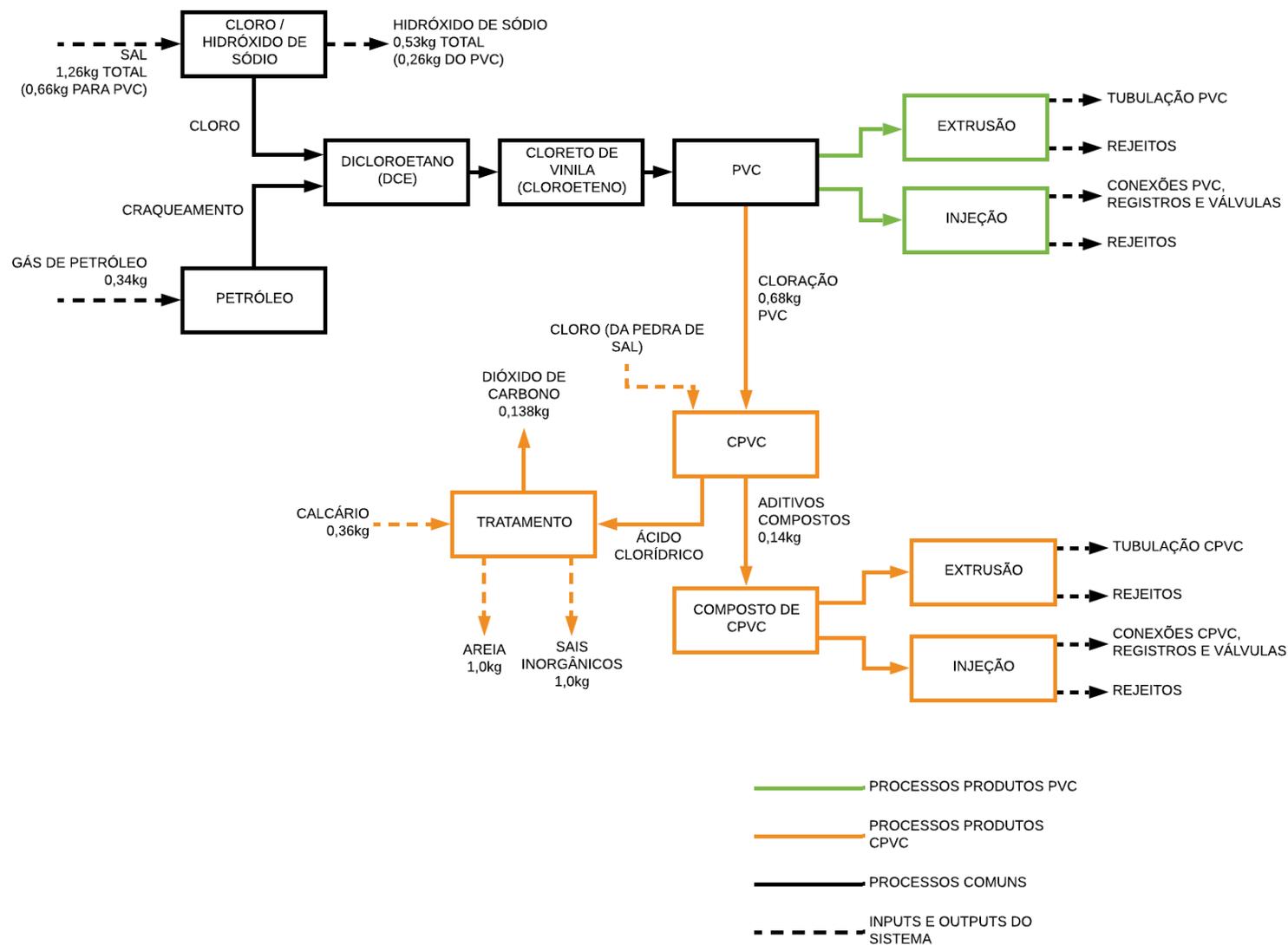
<sup>7</sup> Craqueamento em refino de petróleo é o processo pelo qual moléculas pesadas de hidrocarbonetos são quebradas em moléculas menores através do calor e usualmente pressão. É o processo mais importante para a produção comercial de gasolina e óleo diesel. O craqueamento do petróleo produz óleos leves (correspondentes à gasolina), óleos de gama média usados em gasóleo, óleos pesados residuais, um produto carbonoso sólido conhecido como coque e gases como metano, etano, etileno, propano, propileno e butileno. (Curley et al., [s.d.])

unitários, gerando as peças, diferentemente da extrusão, que é um processo contínuo.

A figura 27, na página seguinte, demonstra o sistema de produto para o processo de extração, fabricação de matérias-primas e fabricação das tubulações e conexões de CPVC e PVC largamente empregado no mercado.

Nos processos de moldagem das tubulações e conexões pode-se ainda empregar a pigmentação, para que se obtenha produtos de colorações diferentes, o que facilita a identificação da utilização no momento da compra de material e da construção propriamente dita. No caso das tubulações de PVC, o mercado usualmente define as tubulações marrons como destinadas a água fria com conexões soldáveis, enquanto as tubulações de CPVC possuem coloração bege.

Vale ressaltar que podem ocorrer variações técnicas dos processos de fabricação dependendo do fabricante e localidade, fatores estes que não foram contemplados no presente estudo.



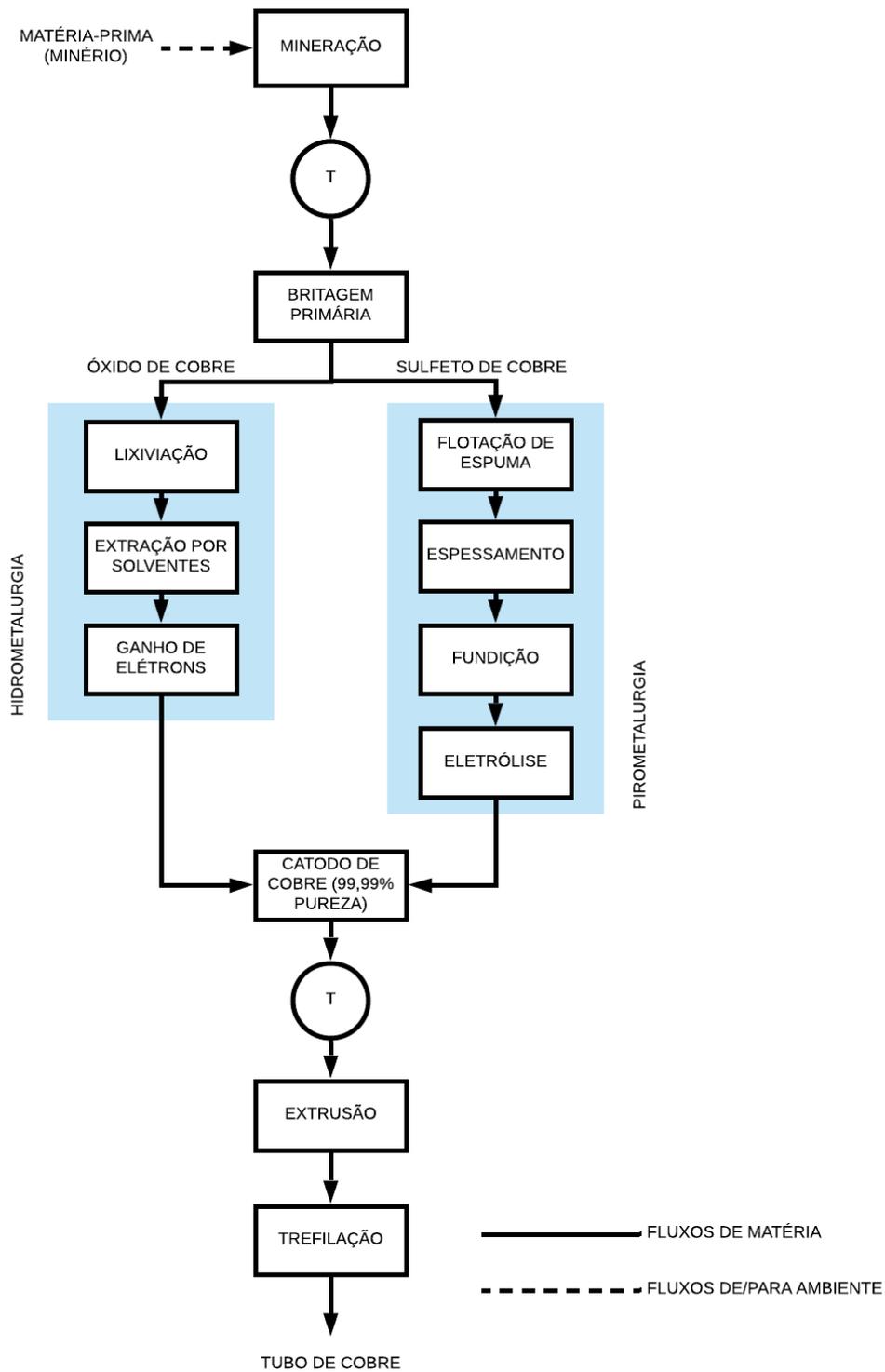
**Figura 29: Sistema de produto tubulação e conexões PVC e CPVC. Adaptado de SOLORIO, 2018**

Com relação à tubulação de cobre para a instalação do sistema a gás, a produção da tubulação se inicia com a obtenção da matéria-prima que consiste de cobre natural ou reciclado. Os métodos de obtenção do cobre mudaram drasticamente ao longo dos anos, uma vez que cobre de mineração se tornou caro, motivo pelo qual a maioria das indústrias começou a utilizar cobre reciclado de edificações dilapidadas. (SAXSMA, [s.d.]

A produção do cobre é, conforme texto publicado pelo Fundo de Pesquisa da Universidade do Arizona, Estados Unidos, um complicado processo que se inicia com a extração do minério (menos de 1% de cobre) e termina com chapas de 99,99% de cobre puro denominadas catodos, as quais são finalmente transformadas em produtos para o uso cotidiano.(UNIVERSITY OF ARIZONA, [s.d.]

O texto descreve que os tipos mais comuns de minério são o óxido de cobre e sulfeto de cobre, os quais são processados distintamente, por hidrometalurgia e pirometalurgia, respectivamente, relacionados à composição química dos minérios. Os óxidos de cobre são mais abundantes próximos à superfície mas são conhecidos por concentração menor de cobre, enquanto o processo para obtenção de sulfeto de cobre é mais caro, porém são obtidos volumes maiores de cobre de um mesmo volume de sulfeto.

A figura a seguir resume os processos de mineração, beneficiamento e obtenção das tubulações de cobre.



**Figura 30: Sistema de produto para a tubulação de cobre**

**Adaptado de University of Arizona, [s.d.]**

Após a mineração e transporte, a matéria-prima de óxido de cobre passa pela hidrometalurgia, que usa soluções aquosas para extrair e purificar o cobre

em baixas temperaturas, utilizando processos de lixiviação, extração de solvente, e extração de elétrons.

Sulfetos são geralmente processados utilizando pirometalurgia, através da aplicação de calor. O processo utiliza uma série de passos físicos e altas temperaturas para purificar o cobre em quatro passos principais: flotação de espuma, espessamento, fundição e eletrólise. (UNIVERSITY OF ARIZONA, [s.d.]

Não serão detalhados neste texto os processos envolvidos no beneficiamento, uma vez que tal detalhamento não faz parte do escopo do projeto e estes processos tiveram seus dados obtidos através da base de dados utilizada no estudo.

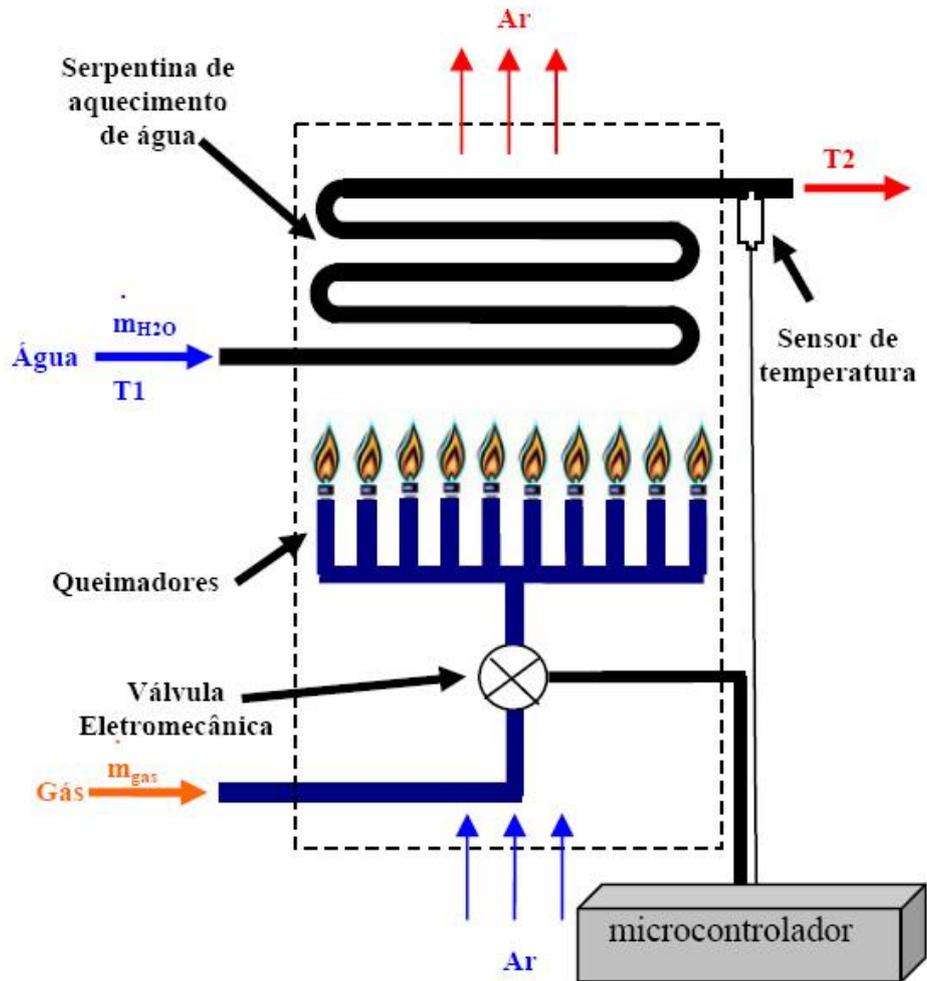
Para a tubulação de cobre da instalação a gás, o projeto considerou instalação de tubulação “Classe A”.<sup>8</sup> A fabricação da tubulação passa pelos processos de extrusão da liga de cobre e posterior trefilação para calibração nos diâmetros comerciais, conforme descrição do fabricante Eluma, 2009.

Os aquecedores de passagem, conforme descrito em capítulo anterior, consistem de aparelhos aquecedores sem acumulação de volume de água, que funcionam, são aparelhos compactos que aquecem a água no instante em que existe uma solicitação de demanda nos pontos de consumo. A figura 29, na página seguinte demonstra esquematicamente o funcionamento do aquecedor instantâneo.

De modo genérico, todos os aquecedores de passagem são constituídos por unidade de aquecimento com um queimador que permite a combustão do gás natural e um trocador de calor que transfere o calor gerado pela queima para a área de consumo, além de sistema de exaustão com tubulação maleável ligada ao exterior da edificação. (COMGÁS; ABRINSTAL, 2011)

---

<sup>8</sup> Classes de tubulações de cobre: Conforme a NBR 13206, as tubulações de cobre recebem diferentes classificações em decorrência da espessura da parede do tubo. Os tubos classe “E” tem parede variável entre 0,50mm e 1,20mm, e é projetado para instalações hidráulicas prediais de água quente e fria. O tubo classe “A” tem parede variando entre 0,70 e 1,50mm e é projetado para instalações de gás. O tubo classe “I” tem parede variável entre 1,00 e 2,00mm, e é utilizado para instalações de alta pressão e instalações hospitalares. (ABNT, 2010)



**Figura 31: Funcionamento esquemático aquecedor de passagem**  
*Adaptado de LAMECC, [s.d.]*

O sistema de aquecimento em questão é revestido por uma caixa de proteção geralmente metálica, a qual possui controladores mecânicos de aquecimento, ou leitor digital, dependendo do modelo do aparelho.

Os processos envolvidos na fabricação dos aparelhos aquecedores são distintos dependendo da demanda de água aquecida, do modelo e do fabricante. Deste modo, para o caso da consideração destes aquecedores no sistema de produto, optou-se por considerar o consumo das matérias-primas para fabricação de uma unidade, além de processos básicos de extrusão para a serpentina e tubulações internas e molde para a caixa protetora.

O aquecedor definido para estudo consiste em modelo do fabricante Rinnai, conforme consta do memorial de cálculo do projeto.

Com relação aos medidores de gás natural, utilizados para medir a taxa de fluxo do gás na entrada do empreendimento e nos ramais independentes de consumo de cada apartamento, estes, segundo texto publicado na revista AdNormas, são classificados em diversos tipos decorrentes de seus princípios operacionais, tais como deslocamento, velocidade, térmico, entre outros. (ADNORMAS, 2019a)

O medidor utilizado para fins de medição de gás combustível residencial é denominado fole ou diafragma, e regulamentado pela NBR 12727, a qual estabelece requisitos mínimos, especificação, métodos de ensaio e princípios destes medidores. (ABNT, 2014a)

O princípio do funcionamento, conforme ainda determina AdNormas, deste medidor, está atrelado ao fluxo de gás por uma câmara de medição de volume conhecido, que possui diafragma oscilante e contém capacidade de gás conhecida. O diafragma se movimenta pela própria diferença de pressão do gás.

O texto ainda define que a carcaça do aparelho deve ser construída em alumínio ou chapa de aço e deve ter uma resistência que suporte os requisitos indicados pela norma, mantendo as características metrológicas durante uso. O diafragma deve ser confeccionado em material resistente à ação dos gases utilizados.

Em pesquisa de mercado, definiu-se a utilização de medidor de gás do fabricante LAO Indústria, o qual, segundo catálogo, 2019, tem sua carcaça produzida em alumínio através de processo de fundição sob pressão, assegurando resistência ao impacto e a agentes externos, protegida por uma camada de tinta em pó poliéster cinza. Os componentes internos, incluindo o diafragma, são fabricados em plásticos de engenharia<sup>9</sup> de alta resistência.

---

<sup>9</sup> Plásticos de engenharia são materiais plásticos estáveis, por determinados períodos, em aplicações onde podem sofrer esforços mecânicos, térmicos, elétricos, químicos ou ambientais. Os plásticos de engenharia de uso geral são polietileno de alto peso molecular (PEUAPM), poli(óxido de metileno) (POM), poli(tereftalato de etileno) (PET), poli(tereftalato de butileno) (PBT), entre outros. (WIEBECK; HARADA, 2005)

Não foi possível obtenção de maiores detalhamentos sobre as características do material empregado nos componentes internos tampouco seu processo de fabricação, desta forma, estes foram excluídos da composição do sistema de produto em estudo.

Com relação às válvulas de segurança de fechamento geral para as colunas, considerados imediatamente a jusante do medidor, considerou-se na relação de materiais válvula esfera rosqueável 1”.

O modelo selecionado para estudo consiste em peça do fabricante Deca, com corpo fabricado em liga de cobre (bronze e latão) e manopla fabricada em plásticos de engenharia e elastômeros (peso bruto total da peça 0,239kg). (DECA, [s.d.]

Conforme GRISON e QUADROS, 2013, a fabricação das válvulas e registros de ligas metálicas é realizada através do processo de fundição. A técnica utiliza uma cavidade chamada de molde, que possui o formato negativo da peça. O metal líquido é vazado no interior desse molde até preenche-lo completamente. Após solidificar por resfriamento, o molde é retirado e a peça encontra-se próxima da geometria final.

A fundição em coquilha, ainda segundo os autores, consiste no enchimento por gravidade do molde metálico, que é aquecido previamente para que se evitem choques térmicos. Para a confecção de roscas internas e externas de torneiras e válvulas é realizado o processo de usinagem.

Conforme Stoeterau, [s.d.], usinagem consiste de operação que confere à peça forma, dimensões, acabamento superficial, ou ainda uma combinação destes, através de remoção de material sob a forma de cavaco, a partir da interferência entre ferramenta e peça, sendo a ferramenta constituída de um material de dureza e resistência muito superior à do material da peça.

Conforme texto do Centro de Informação Metal Mecânica (CIMM), as principais operações de usinagem podem ser classificadas em torneamento, aplainamento, fresamento, furação, brochamento e retificação: no torneamento, a matéria-prima, denominada tarugo, de inicial forma cilíndrica, é cortada por movimento de translação, enquanto a peça gira em torno do seu próprio eixo; o

aplainamento consiste na obtenção de superfície plana através de movimento de translação por parte da ferramenta de corte; o fresamento consiste na utilização de ferramenta de corte com vários gumes, a fim de formar reentrâncias na peça usinada; a furação consiste na criação de cavidade cilíndrica na peça através de broca e, por fim, a retificação a ferramenta remove material da peça por ação de grãos abrasivos. (CIMM, [s.d.]

Por fim, para análise, considerou-se o chuveiro para banho em ABS cromado.

O ABS consiste em uma resina termoplástica derivada do petróleo, conforme texto publicado pelo fabricante Mais Polímeros. A resina é formada pela copolimerização de três monômeros: acrilonitrila (15 a 30% da composição), butadieno (obtido através da desidrogenação do butano, e presente em 5 a 15% da composição) e o estireno (produzido a partir da desidrogenação do etilbenzeno, e presente em 40 a 60% da composição). Após a copolimerização, o composto sofre, analogamente aos compostos de PVC, a extrusão, gerando a resina sólida. (Mais Polímeros, [s.d.]

O processo de fabricação da peça se assemelha ao aplicado para fabricação de conexões e registros em PVC, sendo utilizada a injeção da resina plástica sob alta temperatura e pressão em molde negativo.

O acabamento cromado se dá através de processo industrial denominado cromagem ou cromação. Conforme SVENSON, 2006, o cromo é um metal lustroso resistente à corrosão e a cromação é extensivamente utilizada como operação de acabamento de peças.

SVENSON descreve que há duas classes principais de cromação, uma decorativa, em que os revestimentos finos servem como acabamento superficial e resistente e outra industrial, onde revestimentos pesados são utilizados para aproveitar propriedades especiais do cromo, tais como resistência ao calor, desgaste, entre outras. O processo de cromação é realizado através da imersão da peça em banho de solução de cromo.

Foi escolhido um chuveiro comercial para aplicação, para que se pudesse obter o consumo de matérias-primas exato empregado, do fabricante Deca, cujo

peso bruto é determinado, conforme catálogo, como sendo 0,982kg, os quais, por efeito de simplificação foram convertidos em peso de composto de ABS cromado. (DECA, [s.d.]

O quadro a seguir resume os itens da relação de materiais de projeto, as matérias-primas constituintes consideradas no estudo e os processos envolvidos acrescidos ao sistema de produto. Os processos de formação dos materiais constituintes e suas respectivas particularidades foram obtidos através dos processos contidos na base de dados Ecoinvent. Os demais sistemas envolvidos foram construídos a partir das informações descritas neste texto.

A junção dos materiais de construção levantados no sistema foi considerada na fase de construção da instalação predial. Os processos envolvidos na construção, tais como transporte rodoviário do material até a obra e processos envolvidos diretamente com a construção do sistema, tais como soldagem de peças, fixações, aterramento de tubulação e outros elementos foram desconsiderados desta análise.

Com relação à fase operacional do ciclo de vida, última etapa analisada, considerou-se, para o sistema, o consumo de água e de combustível para o funcionamento contínuo do mesmo.

**Quadro 21: Resumo materiais empregados no SPAQ com Aquecimento a Gás, consumo de matérias-primas e processos de fabricação**

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	MATERIAL CONSTITUINTE	CONSUMO		PROCESSO DE FABRICAÇÃO
				UNIDADE	COEF.	
<b>1</b>	<b>TUBULAÇÕES</b>					
1.1	Tubo CPVC branco soldável DN 15mm para água quente	m	CPVC	kg/m	0,098	Cloração do PVC Extrusão Injeção (para conexões)
1.2	Tubo Cobre Classe "A" DN 28mm	m	Cobre	kg/m	0,463	Extrusão Trefilação
1.3	Tubo Cobre Classe "A" DN 54mm	m	Cobre	kg/m	1,345	Extrusão Trefilação
1.4	Tubo Cobre Classe "A" DN 65mm	m	Cobre	kg/m	1,829	Extrusão Trefilação
1.5	Tubo Cobre Classe "A" DN 80mm	m	Cobre	kg/m	2,627	Extrusão Trefilação
<b>2</b>	<b>EQUIPAMENTOS E ACESSÓRIOS</b>					
2.1	Aquecedor de passagem	un	Alumínio	kg	8,000	Extrusão Injeção
			Cobre	kg	4,100	Extrusão Trefilação
2.2	Registro esfera 1"	un	Liga de cobre	kg	0,239	Fundição Usinagem
2.3	Medidor de gás natural	un	Liga de alumínio	kg	1,200	Fundição sob pressão
2.4	Chuveiro	un	ABS com pintura	kg	0,982	Injeção Cromagem

Desta forma, retomando a definição da unidade funcional realizada, a qual foi considerada “volume de água à temperatura de 40°C, necessário a um banho com duração média de 5 minutos, em um chuveiro instalado no sistema, durante um tempo de vida útil estimado em 25 anos”.

Em consonância ao exposto, definiu-se a demanda de água para o sistema completo durante toda a vida útil. Conforme preceitos da NBR 15569, a vazão de utilização de água quente do chuveiro para banho é definida como 0,12 l/s. Segundo reportagem publicada pelo jornal El País, 2015, uma pesquisa foi realizada para determinação da frequência de banhos no Brasil e obteve-se a média de 12 banhos semanais por pessoa. Considerou-se, ainda, a população média de 4 habitantes por apartamento, desta forma, cada chuveiro empregado possui uma frequência de utilização de 48 banhos semanais.

Considerando, para o tempo de vida útil do sistema, a existência de média de 52,143 semanas por ano, obteve-se, para o sistema considerado, dado o número de 116 chuveiros, a utilização absoluta de 7.258.167 banhos.

Segundo Busto, 2015, a Organização Mundial de Saúde (OMS) fixou em 5 minutos a duração ideal do banho para se conseguir um uso sustentável de água e energia. Na prática a duração e frequência do banho está intimamente relacionada a fatores regionais e culturais de uso da água e sua disponibilidade, os quais determinam a demanda de água para a utilização.

O tempo, visto a escala de aplicação do estudo, também é fator importante, tendo em vista que a prática populacional com relação à utilização da água pode ser modificada ao longo dos anos devido à modificação de fatores tais como poder aquisitivo e oferta.

Para efeitos de estudo, considerou-se a utilização da duração de 5 minutos conforme orientação da OMS.

Desta forma, o volume total de água quente necessário ao banho ao longo da vida útil do sistema, considerando a frequência, duração e número de chuveiros empregado foi dimensionado segundo a relação  $n \times t \times q$  (onde  $n$  é dado como o total de banhos absoluto médio para a vida útil,  $t$  a duração do banho em segundos e  $q$  a vazão unitária em l/s). Obteve-se, desta forma, a

demanda de 261.294.012 litros ou 261.294 m<sup>3</sup> de água demandados ao longo da vida do sistema (36 litros por banho / 2.252.534 litros por chuveiro ao longo da vida útil).

A energia empregada no uso do sistema está associada à potência demandada de gás natural para o aquecimento do volume de água mencionado anteriormente. A demanda energética para o aquecimento foi relacionada ao aparelho aquecedor utilizado, conforme projeto. O aquecedor comercial utilizado possui potência computada de 223 kcal/min.

O dimensionamento da demanda de gás natural foi então realizado a partir da multiplicação do tempo estimado de utilização do sistema ao longo da vida útil pela potência unitária.

Desta forma, 116 aquecedores instalados para frequência média de utilização de 12 banhos por pessoa e 4 pessoas por chuveiro durante 25 anos possui energia demandada de 8.092.988.571,42 kcal (o equivalente a 9.405.851,16 kWh). Dado o poder calorífico específico (10.000 kcal/m<sup>3</sup>) para o gás e sua densidade em condições ambiente, o volume demandado de gás natural para o sistema é de 941.045,18 m<sup>3</sup>.

Para consideração do ciclo de vida da cadeia produtiva de água potável para consumo e gás natural para o sistema utilizou-se as informações do banco de dados da base Ecoinvent.

#### **5.6.2. INVENTÁRIO DO SPAQ COM AQUECIMENTO VIA TERMO SOLAR E COMPLEMENTAÇÃO ELÉTRICA**

Analogamente ao sistema aquecido via gás natural, retomando a figura 25, a fase pré-construção para o sistema predial de água quente com aquecimento via termo solar com complementação elétrica constitui-se da representada por sub-sistemas de produto para os ciclos de vida dos materiais componentes do sistema predial, sua fabricação e transporte até a obra.

Os elementos constituintes, na fase de estudo preliminar de projeto, são dados conforme relação preliminar de materiais descrita no quadro a seguir.

**Quadro 22: Relação de materiais instalação SPAQ com aquecimento via GN extraída do projeto da instalação**

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE
<b>1</b>	<b>TUBULAÇÕES</b>		
1.1	Tubo CPVC branco soldável DN 15mm para água quente	m	3246
1.2	Tubo CPVC branco soldável DN 22mm para água quente	m	663
1.3	Tubo CPVC branco soldável DN 28mm para água quente	m	119
1.4	Tubo CPVC branco soldável DN 35mm para água quente	m	100
1.5	Tubo CPVC branco soldável DN 42mm para água quente	m	246
1.6	Tubo PVC Ponta Bolsa Soldável Marrom	m	11
<b>2</b>	<b>EQUIPAMENTOS E ACESSÓRIOS</b>		
2.1	Coletor solar em alumínio área coletora 2m <sup>2</sup>	un	304
2.2	Reservatório Térmico 3000 l com corpo em aço inoxidável com isolamento térmico em lã de vidro e redundância de aquecimento elétrica potência nominal 7500W	un	1
2.3	Reservatório Térmico 4000 l com corpo em aço inoxidável com isolamento térmico em poliuretano e redundância de aquecimento elétrica potência nominal 6 x 7500W	un	3
2.4	Reservatório Térmico 5000 l com corpo em aço inoxidável com isolamento térmico em poliuretano e redundância de aquecimento elétrica potência nominal 6 x 7500W	un	8
2.5	Bomba centrífuga para recirculação monoestágio potência estimada 2 CV corpo em aço inoxidável e rotor em bronze	un	10
2.6	Hidrômetro 1/2" corpo em liga de cobre	un	116
2.7	Registro esfera 1/2" em bronze	un	116
2.8	Chuveiro em ABS com acabamento cromado	un	116

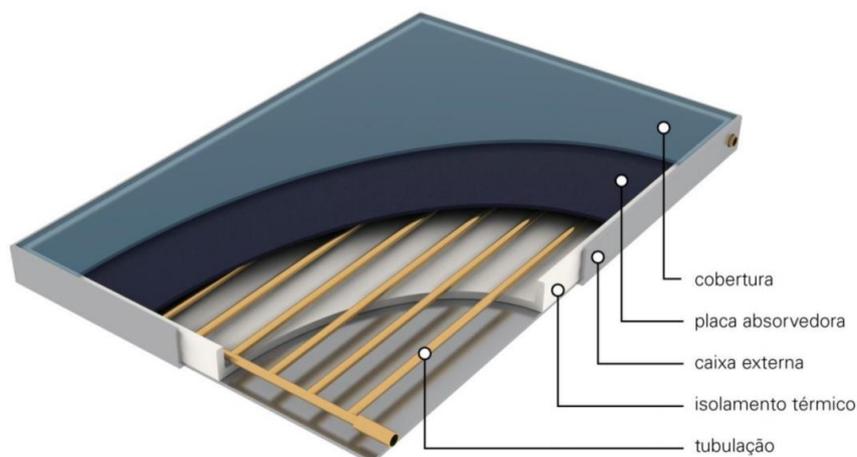
De acordo com as definições do sistema de produto e suas fronteiras, os componentes considerados são, para a fase pré-operacional: Tubulação de

CPVC para circulação de água para aquecimento pelos coletores solares, tubulação em PVC para alimentação de água potável do sistema de aquecimento, coletores solares, reservatório térmico com distintas capacidades para reserva e reaquecimento de água com alimentação elétrica e resistências internas, bombas centrífugas para circulação forçada de água pelo sistema de aquecimento, hidrômetro para medição do consumo de água quente das colunas de apartamentos, registro de fechamento das colunas e o chuveiro para utilização.

A tubulação de PVC e CPVC utilizada pelo sistema possui os processos de produção conforme descrito para o sistema predial com aquecimento via gás natural, assim como o registro esfera de fechamento e o chuveiro

O coletor solar, conforme manual técnico da Associação Brasileira para Conformidade e Eficiência de Instalações (ABRINSTAL) é um trocador de calor que transforma a energia solar radiante em calor, concebido para absorver a maior quantidade possível de radiação e transferir tal radiação para um fluido. (COMGÁS; ABRINSTAL, 2011)

Existem diversas tipologias no mercado, e, para efeitos de estudo, definiu-se modelo tipo plano com cobertura, o qual é composto, ainda conforme o referido manual de cobertura transparente, placa absorvedora, isolamento térmico, caixa e tubulação do fluido. A figura a seguir demonstra esquema dos componentes presentes neste modelo de coletor.



**Figura 32: Representação esquemática de componentes do coletor solar com cobertura. Reprodução de COMGÁS; ABRINSTAL, 2011**

A cobertura transparente permite a passagem de grande parte da radiação solar de pequeno comprimento de onda e retém grande parte da radiação emitida pela placa absorvedora, representando uma barreira mecânica à ação meteorológica sobre a placa. A placa absorvedora é o componente que absorve grande parte da energia radiante e a transfere para um fluido. O isolamento térmico é composto de material de baixo coeficiente de condutividade térmica, e tem por objetivo reduzir perdas de calor entre a placa e a estrutura do coletor. A denominada caixa consiste da estrutura que protege todos os componentes da ação do meio ambiente e, por fim, a tubulação do fluido é geralmente produzida de material metálico (bom condutor de calor), e possui a finalidade de conduzir o fluido a ser aquecido e transferir a energia absorvida para o mesmo. (COMGÁS; ABRINSTAL, 2011)

A cobertura transparente é largamente fabricada em vidro comum, o qual possui a maior parte das propriedades requeridas, geralmente instalado com espessura de 3 a 4mm em área de 2 m<sup>2</sup>. Vidro temperado com teor de ferro é utilizado, para garantir resistência mecânica e redução da transmitância solar, conforme relatório de revisão de dados de fabricantes e do mercado de energia solar da Diretoria Geral para Energia e Transporte da União Europeia. (EXERGIA, 2004)

Conforme o relatório, a placa absorvedora é largamente fabricada de material metálico (cobre ou alumínio), o qual é extrudado em forma de fina placa soldada em tubulação de passagem de fluido. A placa é pintada com tinta mate preta, a qual aumenta a absorção de radiação e evita reflexo.

A fim de diminuir custos, o relatório ainda descreve que o isolamento térmico geralmente é executado em fina camada de lã mineral, utilizada em contato com a placa absorvedora. O restante do volume é preenchido geralmente com poliuretano para resistência mecânica dos componentes internos, em placas de 30 a 35mm de espessura, atuando também no isolamento térmico.

A tubulação de circulação de fluido internamente ao coletor, fixada na placa absorvedora é geralmente executada em cobre, com pequenos diâmetros.

Por fim, a caixa de fechamento é geralmente fabricada em alumínio extrudado nas laterais e placa de alumínio de espessura da ordem de 0,5 a 1,0mm.

Os processos envolvidos na fabricação do painel consistem basicamente na junção e solda de suas partes componentes, as quais, conforme descrições anteriores, são fabricadas a partir de extrusão e molde das peças de matéria-prima diversificada.

O coletor solar comercial escolhido para o projeto consistiu de modelo do fabricante Heliotek, denominado MC evolution Pro, com dimensões de 1,00 x 2,00 m, com absorvedor em chapa única de alumínio soldada, caixa de alumínio, conexões e tubulações em cobre 15mm soldadas, revestimento interno aluminizado, vidro temperado e pintura de revestimento do absorvedor preta. (HELIOTEK, [s.d.])

O reservatório térmico para a água aquecida é fabricado, conforme manual técnico da ABRINSTAL, em aço inoxidável ou aço vitrificado com revestimento em epóxi.

O reservatório comercial escolhido para projeto, do fabricante Soletrol, possui corpo em aço inoxidável e revestimento térmico interno em lã de vidro (para volumes até 3000 litros) e poliuretano rígido (para volumes entre 3000 e 5000 litros). (SOLETROL, [s.d.])

Além do exposto, os reservatórios são dotados internamente de resistência elétrica para reaquecimento da água circulada pelos coletores.

Para efeitos de estudo, os materiais componentes considerados para os reservatórios tiveram seu processo de fabricação conforme base de dados utilizada para avaliação do ciclo de vida.

O sistema de aquecimento conta ainda com bomba centrífuga acoplada para circulação forçada do líquido pelos coletores. O processo de fabricação de tais equipamentos possui variabilidade dependendo do fabricante, porém os processos básicos são semelhantes e possuem grandes similaridades com a produção de peças e válvulas, uma vez que a fabricação do aparelho consiste efetivamente da fabricação das peças componentes do mesmo e de sua união.

Desta forma definiu-se, a partir de Houssain, 2016, quatro processos principais envolvidos: fundição, usinagem, montagem e fase de teste.

Conforme relatado anteriormente, a fundição consiste, basicamente, de processo de derretimento de metais e inserção do líquido em molde para fabricação de peças.

A usinagem consiste da obtenção de formas para componentes através de abrasão, corte, planificação e outros processos mecânicos, conforme descrito para as válvulas metálicas.

A fase seguinte, denominada montagem, consiste na união das peças fabricadas em um único equipamento, seja através de processos de colagem, soldagem ou utilizando parafusos e outros elementos conectores. Por fim, a fase de teste consiste na verificação do funcionamento do elemento fabricado.

Para efeito de projeto e através de verificação de histórico de dimensionamento de sistemas de circulação forçada similares, definiu-se modelo comercial CAM W-6C, fabricante Dancor, para o conjunto de bombas empregado nos sistemas de aquecimento projetados, o qual, conforme catálogo com especificações técnicas, possui carcaça em liga de alumínio-silício de alta resistência à pressão e oxidação, rotor em termoplástico de engenharia e motor com eixo em aço carbono. O modelo em questão possui peso de 16,7kg e potência demandada máxima para utilização de 2 CV. (DANCOR, [s.d.]

Por fim, o sistema empregou, para medição individualizada do consumo de água quente dos apartamentos, hidrômetros instalados nos pavimentos da edificação logo após a derivação das colunas de distribuição de água aquecida. O medidor de água é, conforme Song; Luo e Xu, 2012, fabricado através de moldagem de peça única por processo de fundição devido à sua geometria relativamente complexa. Foi definido, para o projeto, hidrômetro comercial do fabricante LAO Indústria, com carcaça em liga de cobre e peso aproximado do corpo com conexões metálicas de 2,60 kg. (LAO Indústria, [s.d.]

O quadro a seguir resume os materiais de construção empregados no sistema, seus materiais componentes, respectivo consumo de cada e processos de fabricação considerados na análise.

**Quadro 23: Resumo materiais empregados no SPAQ com Aquecimento via Termo Solar, consumo de matérias-primas e processos de fabricação**

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	MATERIAL CONSTITUINTE	COEFICIENTE DE CONSUMO		PROCESSO DE FABRICAÇÃO
				UNIDADE	CONSUMO	
<b>1</b>	<b>TUBULAÇÕES</b>					
1.1	Tubo CPVC branco soldável DN 15mm para água quente	m	CPVC	kg/m	0,098	Cloração do PVC
						Extrusão
						Injeção (conexões)
1.2	Tubo CPVC branco soldável DN 22mm para água quente	m	CPVC	kg/m	0,182	Cloração do PVC
						Extrusão
						Injeção (conexões)
1.3	Tubo CPVC branco soldável DN 28mm para água quente	m	CPVC	kg/m	0,29	Cloração do PVC
						Extrusão
						Injeção (conexões)
1.4	Tubo CPVC branco soldável DN 35mm para água quente	m	CPVC	kg/m	0,462	Cloração do PVC
						Extrusão
						Injeção (conexões)
1.5	Tubo CPVC branco soldável DN 42mm para água quente	m	CPVC	kg/m	0,649	Cloração do PVC
						Extrusão
						Injeção (conexões)
1.6	Tubo PVC Ponta Bolsa Soldável Marrom DN 32mm	m	PVC	kg/m	0,286	Cloração do PVC
						Extrusão
						Injeção (conexões)
						Injeção
						Cromagem

**Continuação do Quadro 23: Resumo materiais empregados no SPAQ com Aquecimento via Termo Solar, consumo de matérias-primas e processos de fabricação**

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	MATERIAL CONSTITUINTE	COEFICIENTE DE CONSUMO		PROCESSO DE FABRICAÇÃO
				UNIDADE	CONSUMO	
<b>2</b>	<b>EQUIPAMENTOS E ACESSÓRIOS</b>					
2.1	Coletor solar área coletora 2m <sup>2</sup>	un	Vidro temperado esp 4mm	kg	20,000	Têmpera térmica / Moldagem
			Alumínio (placa)	kg	4,320	Extrusão
			Alumínio (caixa)	m <sup>2</sup>	2,000	Fundição
			Lã mineral	kg	0,896	Fundição / Centrifugação
			Espuma de poliuretano	kg	3,840	Polimerização e moldagem
			Tubulação de cobre	m	22,000	Extrusão Trefilação
2.2	Reservatório Térmico 3000 l com corpo em aço inoxidável com isolamento térmico em lã de vidro	un	Chapa de Aço Inoxidável	m <sup>2</sup>	28,978	Laminação / montagem
			Lã de vidro	kg	64,912	Fundição / Centrifugação
2.3	Reservatório Térmico 4000 l com corpo em aço inoxidável com isolamento térmico em lã de vidro	un	Chapa de Aço Inoxidável	m <sup>2</sup>	30,950	Laminação / montagem
			Espuma de poliuretano	kg	34,664	Fundição / Centrifugação
2.4	Reservatório Térmico 5000 l com corpo em aço inoxidável com isolamento térmico em lã de vidro	un	Chapa de Aço Inoxidável	m <sup>2</sup>	36,992	Laminação / montagem
			Espuma de poliuretano	kg	41,431	Fundição / Centrifugação

**Continuação do Quadro 23: Resumo materiais empregados no SPAQ com Aquecimento via Termo Solar, consumo de matérias-primas e processos de fabricação**

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	MATERIAL CONSTITUINTE	COEFICIENTE DE CONSUMO		PROCESSO DE FABRICAÇÃO
				UNIDADE	CONSUMO	
2.5	Bomba centrífuga para recirculação monoestágio potência estimada 2 CV	un	Liga de alumínio-silício	kg	16,700	Fundição
						Usinagem
						Montagem
2.6	Hidrômetro 1/2" corpo em liga de cobre	un	Liga de cobre	kg	2,600	Fundição
2.7	Registro esfera 1/2"	un	CPVC	kg	0,100	Cloração do PVC
						Injeção
2.8	Chuveiro	un	ABS	kg	0,239	Injeção
						Cromagem

A conjunção dos materiais de construção levantados no sistema foi considerada na fase de construção da instalação predial. Os processos envolvidos na construção, tais como transporte rodoviário do material até a obra e processos envolvidos diretamente com a construção do sistema, tais como soldagem de peças, fixações, aterramento de tubulação e outros elementos foram desconsiderados desta análise.

Com relação à fase operacional do ciclo de vida, analogamente ao sistema predial de aquecimento a gás natural, considerou-se, para o sistema termo solar, o consumo de água e de energia para o funcionamento contínuo do mesmo.

O consumo de água potável é considerado idêntico ao calculado anteriormente para o sistema de água quente com fonte de aquecimento a gás, tendo em vista que a população consumidora, número de aparelhos consumidores e local de instalação são exatamente os mesmos.

O consumo energético, no entanto, constitui-se variante importante no processo de análise da fase operacional do ciclo de vida do sistema. Foi definido que a fonte energética da radiação solar seria complementada com alimentação elétrica para os reservatórios de acumulação, em períodos do ano com baixa insolação. Além do exposto, considera-se alimentação elétrica para o conjunto de bombas centrífugas instalado para circulação forçada da água pelos coletores solares.

Desta forma, a matriz de consumo energética do sistema é galgada em energia proveniente da radiação associada ao consumo elétrico.

A energia demandada para aquecimento da água da temperatura ambiente até a temperatura de armazenagem (considerada, para o estudo, 45°C, tendo em vista a distância do reservatório até os pontos de consumo e perda gradual de energia térmica do líquido ao longo da distribuição).

A demanda energética diária do sistema gerada pelo volume de água reservado, para cada bloco de edificação, é dada conforme memorial de cálculo para os sistemas de aquecimento termo solar empregados no projeto. A demanda energética diária foi calculada com valor de 1982,89 kWh/dia.

Dado o coletor solar comercial, o memorial de cálculo para o sistema demonstra a produção média diária de energia por m<sup>2</sup> de coletor fixada em 3.62 kWh/m<sup>2</sup>.dia, considerando a insolação média anual local para a cidade do Rio de Janeiro.

A fim de dimensionar a demanda energética para a alimentação elétrica do sistema, este dado foi detalhado em produções médias diárias mensais de energia dos conjuntos de coletores solares dimensionados para cada bloco da edificação, conforme preceitos da NBR 15569 relacionada aos requisitos de dimensionamento do sistema conforme demonstrado na tabela a seguir.

**Tabela 15: Geração de energia termo solar média diária mensal em função da irradiação local**

MÊS	IRRA-DIAÇÃO GLOBAL (kW/m <sup>2</sup> .dia)	BLO-CO	Fcinstal	ÁREA COLE-TORA (m <sup>2</sup> )	PMDEE	ENERGIA GERADA (kWh)	ENER-GIA ÚTIL (kWh)
Janei-ro	5,75	B1	1,023463	110	3,62	456,47	388,00
		B2	1,023463	110		456,47	388,00
		B3	1,017584	110		459,11	390,24
		B4	1,030556	132		543,99	462,39
		B5	1,046599	146		592,47	503,60
	<b>TOTAL</b>					2508,51	2132,23
Fevereiro	6,75	B1	1,023463	110	3,62	535,86	455,48
		B2	1,023463	110		535,86	455,48
		B3	1,017584	110		538,95	458,11
		B4	1,030556	132		638,60	542,81
		B5	1,046599	146		695,50	591,18
	<b>TOTAL</b>					2944,77	2503,05
Março	4,25	B1	1,023463	110	3,62	337,39	286,78
		B2	1,023463	110		337,39	286,78
		B3	1,017584	110		339,34	288,44
		B4	1,030556	132		402,08	341,77
		B5	1,046599	146		437,91	372,22
	<b>TOTAL</b>					1854,11	1576,00

**Continuação da Tabela 15: Geração de energia termo solar média diária mensal em função da irradiação local**

<b>MÊS</b>	<b>IRRA-DIAÇÃO GLOBAL (kW/m<sup>2</sup>.dia)</b>	<b>BLO-CO</b>	<b>Fcinstal</b>	<b>ÁREA COLE-TORA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>PMDEE</b>	<b>ENERGIA GERADA (kWh)</b>	<b>ENER-GIA ÚTIL (kWh)</b>
<b>Maio</b>	3,50	B1	1,023463	110	3,62	277,85	236,17
		B2	1,023463	110		277,85	236,17
		B3	1,017584	110		279,46	237,54
		B4	1,030556	132		331,13	281,46
		B5	1,046599	146		360,63	306,54
	<b>TOTAL</b>					1526,92	1297,88
<b>Junho</b>	3,00	B1	1,023463	110	3,62	238,16	202,43
		B2	1,023463	110		238,16	202,43
		B3	1,017584	110		239,53	203,60
		B4	1,030556	132		283,82	241,25
		B5	1,046599	146		309,11	262,75
	<b>TOTAL</b>					1308,79	1112,47
<b>Julho</b>	3,25	B1	1,023463	110	3,62	258,00	219,30
		B2	1,023463	110		258,00	219,30
		B3	1,017584	110		259,50	220,57
		B4	1,030556	132		307,47	261,35
		B5	1,046599	146		334,87	284,64
	<b>TOTAL</b>					1417,85	1205,17
<b>Agosto</b>	4,00	B1	1,023463	110	3,62	317,54	269,91
		B2	1,023463	110		317,54	269,91
		B3	1,017584	110		319,38	271,47
		B4	1,030556	132		378,43	321,67
		B5	1,046599	146		412,15	350,33
	<b>TOTAL</b>					1745,05	1483,29
<b>Setem-bro</b>	4,75	B1	1,023463	110	3,62	377,08	320,52
		B2	1,023463	110		377,08	320,52
		B3	1,017584	110		379,26	322,37
		B4	1,030556	132		449,39	381,98
		B5	1,046599	146		489,43	416,01
	<b>TOTAL</b>					2072,25	1761,41
<b>Outu-bro</b>	4,75	B1	1,023463	110	3,62	377,08	320,52
		B2	1,023463	110		377,08	320,52
		B3	1,017584	110		379,26	322,37
		B4	1,030556	132		449,39	381,98
		B5	1,046599	146		489,43	416,01
	<b>TOTAL</b>					2072,25	1761,41

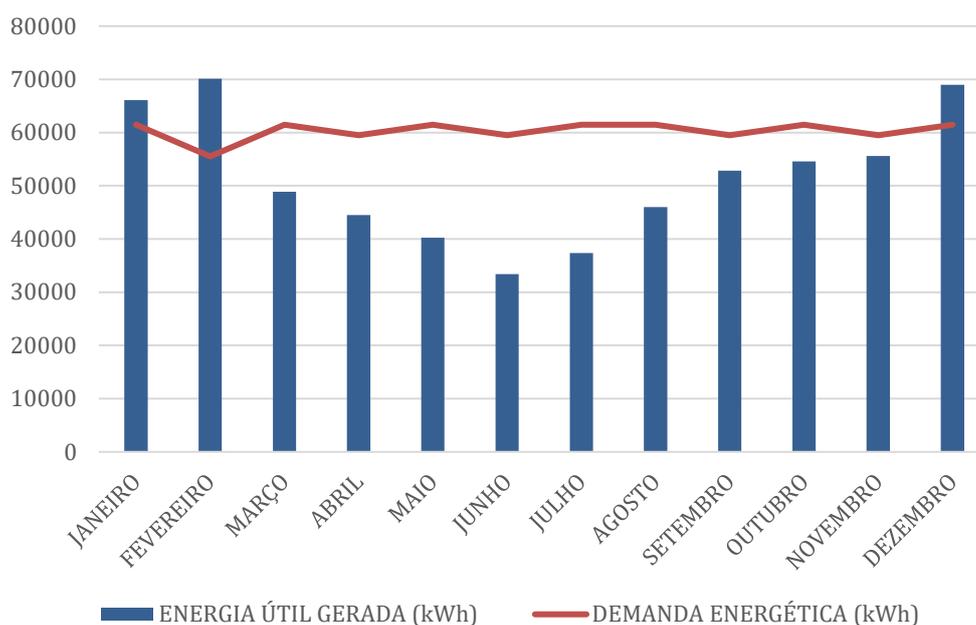
**Continuação da Tabela 15: Geração de energia termo solar média diária mensal em função da irradiação local**

MÊS	IRRA-DIAÇÃO GLOBAL (kW/m <sup>2</sup> .dia)	BLO-CO	Fcinstal	ÁREA COLE-TORA (m <sup>2</sup> )	PMDEE	ENERGIA GERADA (kWh)	ENER-GIA ÚTIL (kWh)
Novem-bro	5,00	B1	1,023463	110	3,62	396,93	337,39
		B2	1,023463	110		396,93	337,39
		B3	1,017584	110		399,22	339,34
		B4	1,030556	132		473,04	402,08
		B5	1,046599	146		515,19	437,91
	<b>TOTAL</b>					2181,31	1854,11
Dezem-bro	6,00	B1	1,023463	110	3,62	476,32	404,87
		B2	1,023463	110		476,32	404,87
		B3	1,017584	110		479,07	407,21
		B4	1,030556	132		567,65	482,50
		B5	1,046599	146		618,23	525,49
	<b>TOTAL</b>					2617,57	2224,94
Média Anual	4,58	B1	1,023463	110	3,62	363,85	309,27
		B2	1,023463	110		363,85	309,27
		B3	1,017584	110		365,96	311,06
		B4	1,030556	132		433,62	368,58
		B5	1,046599	146		472,26	401,42
	<b>TOTAL</b>					1999,54	1699,61

Dado o dimensionamento efetuado, foi possível realizar uma comparação entre oferta e demanda total mensal para o período de um ano e determinar os meses deficitários para o sistema, nos quais seria necessária a complementação elétrica do aquecimento realizado pelo sistema principal.

Desta forma, observa-se um *déficit* energético a ser transferido para o sistema de resistências elétricas dos reservatórios térmicos nos meses de março a novembro.

O *déficit* anual total para o sistema foi computado como 131.919,89 kWh e o *déficit* energético solar total ao longo de uma vida útil de 25 anos do sistema é dado, então por, 3.297.997,37 kWh. O resumo gráfico dos dados apresentados pode ser verificado na figura a seguir.



MÊS	ENERGIA ÚTIL GERADA (kWh)		DEMANDA ENERGÉTICA (kWh)		DÉFICIT ENERGÉTICO MENSAL (kWh)
	DIÁRIA	MENSAL	DIÁRIA	MENSAL	
JANEIRO	2132,23	66099,19	1982,89	61469,59	
FEVEREIRO	2503,05	70085,53	1982,89	55520,92	
MARÇO	1576,00	48855,92	1982,89	61469,59	12613,67
ABRIL	1483,29	44498,75	1982,89	59486,70	14987,95
MAIO	1297,88	40234,29	1982,89	61469,59	21235,30
JUNHO	1112,47	33374,06	1982,89	59486,70	26112,64
JULHO	1205,17	37360,41	1982,89	61469,59	24109,18
AGOSTO	1483,29	45982,04	1982,89	61469,59	15487,55
SETEMBRO	1761,41	52842,27	1982,89	59486,70	6644,43
OUTUBRO	1761,41	54603,68	1982,89	61469,59	6865,91
NOVEMBRO	1854,11	55623,44	1982,89	59486,70	3863,26
DEZEMBRO	2224,94	68973,06	1982,89	61469,59	
<b>DÉFICIT ENERGÉTICO ANUAL</b>					<b>131919,89</b>

**Figura 33: Comparação oferta e demanda energética para SAS**

Outro fator de demanda do sistema elétrico consiste na alimentação das bombas centrífugas de circulação de água pelos circuitos de coletores. Considerando a potência nominal de 2 CV (1,47 kW) para a bomba e um tempo

de funcionamento estimado em 6 horas diárias (fator estimado a partir da consideração de 12 horas diárias de insolação e de circulação de fluido em metade deste tempo devido ao gradiente de temperatura entre os coletores solares e a água reservada), a demanda energética diária das bombas foi dimensionada para 8,82 kWh.

Tal demanda, em tempo de vida de 25 anos, equivale a 80.482,85 kWh.

Dados os fatores de demanda elétrica dos reservatórios e demanda elétrica das bombas, a demanda energética total para a alimentação elétrica é dada por 3.378.479,87 kWh (12.162.527,53 MJ).

Analogamente ao SPAQ com aquecimento via Gás Natural, o sistema com aquecimento via termo solar teve os dados relacionados ao ciclo de vida de obtenção de água potável e eletricidade para a matriz brasileira obtidos através da base de dados Ecoinvent.

## 5.7. FASE VII: INTERPRETAÇÃO (C) – CORRELAÇÃO DE DADOS E FLUXOS ELEMENTARES

Após o levantamento de dados de inventário, realizou-se a correlação dos mesmos aos fluxos de referência definidos inicialmente para definição dos valores absolutos aplicados à unidade funcional, que considera apenas um chuveiro instalado no sistema composto por 116 unidades. Os referidos fluxos para cada tipologia de sistema estão relacionados no quadro a seguir.

**Quadro 24: Fluxos de Referência para a unidade funcional do SPAQ com aquecimento via gás natural**

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE
<b>A</b>	<b>SPAQ COM AQUECIMENTO VIA GÁS NATURAL</b>		
<b>1</b>	<b>TUBULAÇÕES</b>		
1.1	Tubo CPVC branco soldável DN 15mm para água quente	m	9,000
1.2	Tubo Cobre Classe "A" DN 28mm	m	83,280
1.3	Tubo Cobre Classe "A" DN 54mm	m	1,590
1.4	Tubo Cobre Classe "A" DN 65mm	m	0,290
1.5	Tubo Cobre Classe "A" DN 80mm	m	0,110

**Continuação do Quadro 24: Fluxos de Referência para a unidade funcional do SPAQ com aquecimento via gás natural**

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE
<b>A</b>	<b>SPAQ COM AQUECIMENTO VIA GÁS NATURAL</b>		
<b>2</b>	<b>EQUIPAMENTOS E ACESSÓRIOS</b>		
2.1	Aquecedor de passagem	un	1
2.2	Registro globo 1" em cobre	un	1
2.3	Medidor de gás natural	un	1
2.4	Chuveiro em ABS com acabamento cromado	un	1
<b>3</b>	<b>DEMANDA DE ÁGUA E ENERGIA</b>		
3.1	Demanda de água em 25 anos	m <sup>3</sup>	2.252,534
3.2	Demanda energética de gás em 25 anos	kcal	81.084,924
<b>B</b>	<b>SPAQ COM AQUECIMENTO VIA TERMO SOLAR E COMPLEMENTAÇÃO ELÉTRICA</b>		
<b>1</b>	<b>TUBULAÇÕES</b>		
1.1	Tubo CPVC branco soldável DN 15mm para água quente	m	27,983
1.2	Tubo CPVC branco soldável DN 22mm para água quente	m	5,716
1.3	Tubo CPVC branco soldável DN 28mm para água quente	m	1,026
1.4	Tubo CPVC branco soldável DN 35mm para água quente	m	0,862
1.5	Tubo CPVC branco soldável DN 42mm para água quente	m	2,121
1.6	Tubo PVC Ponta Bolsa Soldável Marrom DN 32mm	m	0,095
<b>2</b>	<b>EQUIPAMENTOS E ACESSÓRIOS</b>		
2.1	Coletor solar área coletora 2m <sup>2</sup>	un	2,621
2.2	Reservatório Térmico 3000 l com corpo em aço inoxidável com isolamento térmico em lã de vidro e redundância de aquecimento elétrica potência nominal 7500W	un	0,009
2.3	Reservatório Térmico 4000 l com corpo em aço inoxidável com isolamento térmico em lã de vidro e redundância de aquecimento elétrica potência nominal 6 x 7500W	un	0,026

**Continuação do Quadro 24: Fluxos de Referência para a unidade funcional do SPAQ com aquecimento via gás natural**

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE
2.5	Bomba centrífuga para recirculação monoestágio potência estimada 2 CV	un	0,086
2.6	Hidrômetro 1/2" corpo em liga de cobre	un	1
2.7	Registro esfera 1/2"	un	1
2.8	Chuveiro	un	1
<b>3</b>	<b>DEMANDA DE ÁGUA E ENERGIA</b>		
3.1	Demanda de água em 25 anos	m <sup>3</sup>	2.252,534
3.2	Demanda energética de eletricidade em 25 anos	MJ	104.849,38

Os dados em questão foram considerados como *inputs* do sistema de produto modelado dentro do *software* OpenLCA.

### 5.8. FASE VIII: AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DO CICLO DE VIDA (AICV)

Após a modelagem dos sistemas de produto dentro do *software* OpenLCA, com auxílio da base de dados Ecoinvent e dos dados coletados e relacionados aos fluxos elementares dos materiais componentes dos sistemas e recursos energéticos consumidos, realizou-se o cálculo dos impactos relacionados através do método ReCiPe, conforme orientado no texto do capítulo 4.

Para cálculo dos impactos foi considerado método ReCiPe *midpoint*, o qual, conforme texto anterior, engloba 18 categorias de impacto distintas, das quais foram definidas para análise as categorias consideradas mais importantes: aquecimento global, toxicidade humana (carcinogênica e não carcinogênica), escassez de recursos fósseis e recursos minerais e resíduos, impactos considerados diretamente relacionados aos sistemas prediais de emprego do estudo.

As etapas de classificação, caracterização e ponderação dos dados segundo as categorias de impacto foram realizadas dentro do software, com utilização de método de cálculo ReCiPe 2016 *midpoint* (H), o qual consiste na modelagem dos impactos por um período de 100 anos de alcance.

### 5.9. FASE IX: INTERPRETAÇÃO (D) – ANÁLISE DE RESULTADOS E APLICABILIDADE

Em consideração ao exposto para o cálculo de impactos do ciclo de vida, a seguir são demonstrados e discutidos os resultados obtidos para a comparação dos dois sistemas prediais de água quente estudados, considerando as categorias de impacto relacionadas.

O quadro a seguir descreve as unidades consideradas para as categorias de impacto do método ReCiPe 2016 *midpoint* (H).

**Quadro 25: Categorias de impacto ReCiPe midpoint e respectivas unidades de medida**

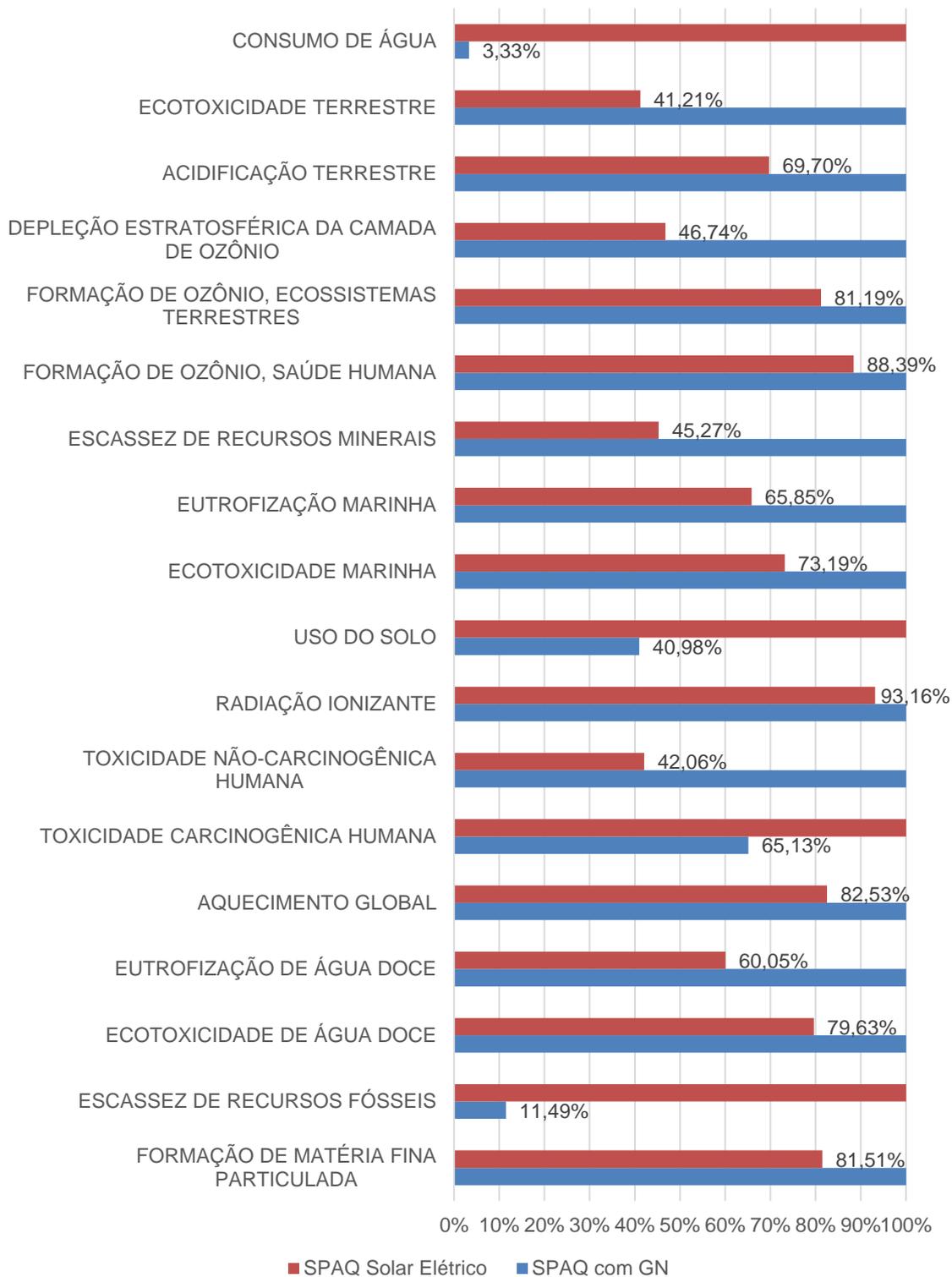
CATEGORIA DE IMPACTO	UNIDADE	DESCRIÇÃO
FORMAÇÃO DE MATÉRIA FINA PARTICULADA	kg PM2.5 eq	kg de material particulado fino emitido equivalente
ESCASSEZ DE RECURSOS FÓSSEIS	kg oil eq	kg de petróleo consumido equivalente
ECOTOXICIDADE DE ÁGUA DOCE	kg 1,4-DCB	kg de 1,4-Diclorobenzeno emitido para água
EUTROFIZAÇÃO DE ÁGUA DOCE	kg P eq	kg de fósforo equivalente
AQUECIMENTO GLOBAL	kg CO2 eq	kg de Gás Carbônico equivalente
TOXICIDADE CARCINOGENICA HUMANA	kg 1,4-DCB	kg de 1,4-Diclorobenzeno emitido
TOXICIDADE NÃO-CARCINOGENICA HUMANA	kg 1,4-DCB	kg de 1,4-Diclorobenzeno emitido
RADIAÇÃO IONIZANTE	kBq Co-60 eq	kBq de Cobalto-60 equivalente

**Continuação do Quadro 25: Categorias de impacto ReCiPe midpoint e respectivas unidades de medida**

CATEGORIA DE IMPACTO	UNIDADE	DESCRIÇÃO
USO DO SOLO	m <sup>2</sup> a crop eq	área x tempo equivalente
ECOTOXICIDADE MARINHA	kg 1,4-DCB	kg de 1,4-Diclorobenzeno emitido para água
EUTROFIZAÇÃO MARINHA	kg N eq	kg de Nitrogênio equivalente
ESCASSEZ DE RECURSOS MINERAIS	kg Cu eq	kg de Cobre equivalentemente
FORMAÇÃO DE OZÔNIO, SAÚDE HUMANA	kg NO <sub>x</sub> eq	kg de Óxido de Nitrogênio equivalente
FORMAÇÃO DE OZÔNIO, ECOSISTEMAS TERRESTRES	kg NO <sub>x</sub> eq	kg de Óxido de Nitrogênio equivalente
DEPLEÇÃO ESTRATOSFÉRICA DA CAMADA DE OZÔNIO	kg CFC11 eq	kg de CFC-11 (clorofluormetano) equivalente
ACIDIFICAÇÃO TERRESTRE	kg SO <sub>2</sub> eq	kg de Oxido Sulfurico equivalente
ECOTOXICIDADE TERRESTRE	kg 1,4-DCB	kg de 1,4-Diclorobenzeno emitido
CONSUMO DE ÁGUA	m <sup>3</sup>	volume de água consumido

**Adaptado de RIVM, 2018.**

A figura a seguir demonstra a relação de todas as categorias de impacto midpoint comparadas entre os dois sistemas, em valores normalizados, segundo as unidades definidas no quadro anterior.

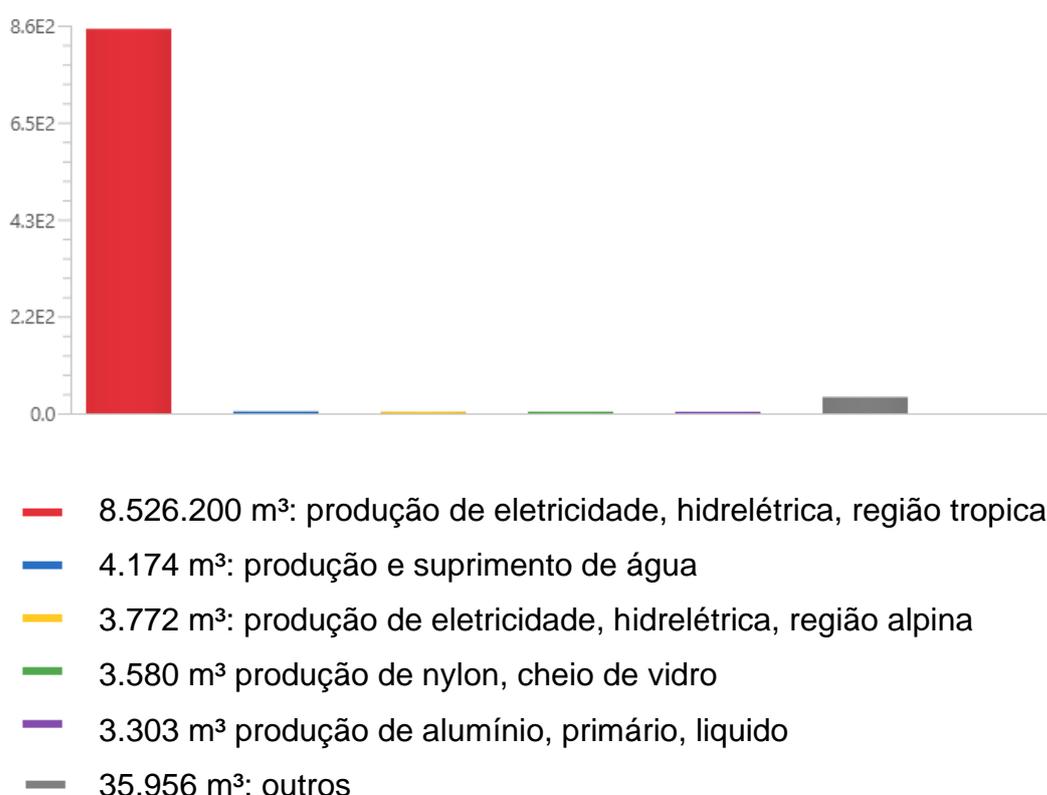


**Figura 34: Resultados normalizados para as categorias de impacto ReCiPe midpoint (H)**

Nota-se que para 14 categorias os impactos gerados pelo Sistema Predial de Água Quente com aquecimento a gás são mais elevados, para as

considerações realizadas no estudo. O SPAQ com aquecimento via termo solar e complemento elétrico só contribui mais para os impactos de consumo de água, uso do solo, toxicidade humana carcinogênica e escassez de recursos fósseis. O fator corrobora com resultados esperados de bibliografia, na medida em que o sistema Termo Solar consiste de fonte de energia principal limpa, sem consumo de recursos fósseis, por exemplo. Ainda assim, fatores relacionados à cadeia produtiva dos materiais componentes contribuíram fortemente para diversas categorias de impacto em ambos os sistemas.

Com relação ao consumo de água, nota-se pela análise dos resultados da categoria, que a maior contribuição para o consumo deste recurso pelo sistema Termo Solar consiste na utilização de eletricidade de matriz energética hidrelétrica. Conforme a figura a seguir, o consumo de água para geração e abastecimento elétrico configura quase que 100% do consumo para o sistema ao longo do tempo de vida de 25 anos. O consumo de produção é tão elevado que o fator de consumo para utilização direta para os banhos é próximo de zero.



**Figura 35: Fatores contribuintes para o consumo de água do SPAQ com aquecimento Termo Solar e complemento elétrico**

O resultado demonstra que o sistema Termo Solar tende a ser menos poluente que a fonte de gás, contudo, numa aplicação prática, em que há necessidade de combinação com outra fonte energética para que o sistema atenda plenamente a demanda, o desempenho ambiental do mesmo é prejudicado em fatores como o consumo de água.

Além do exposto, nota-se, pelo gráfico, que a utilização de base de dados pode levar à utilização de processos distantes da realidade brasileira, uma vez que utiliza-se muitas vezes o “mercado global” como referência para a cadeia produtiva dos materiais.

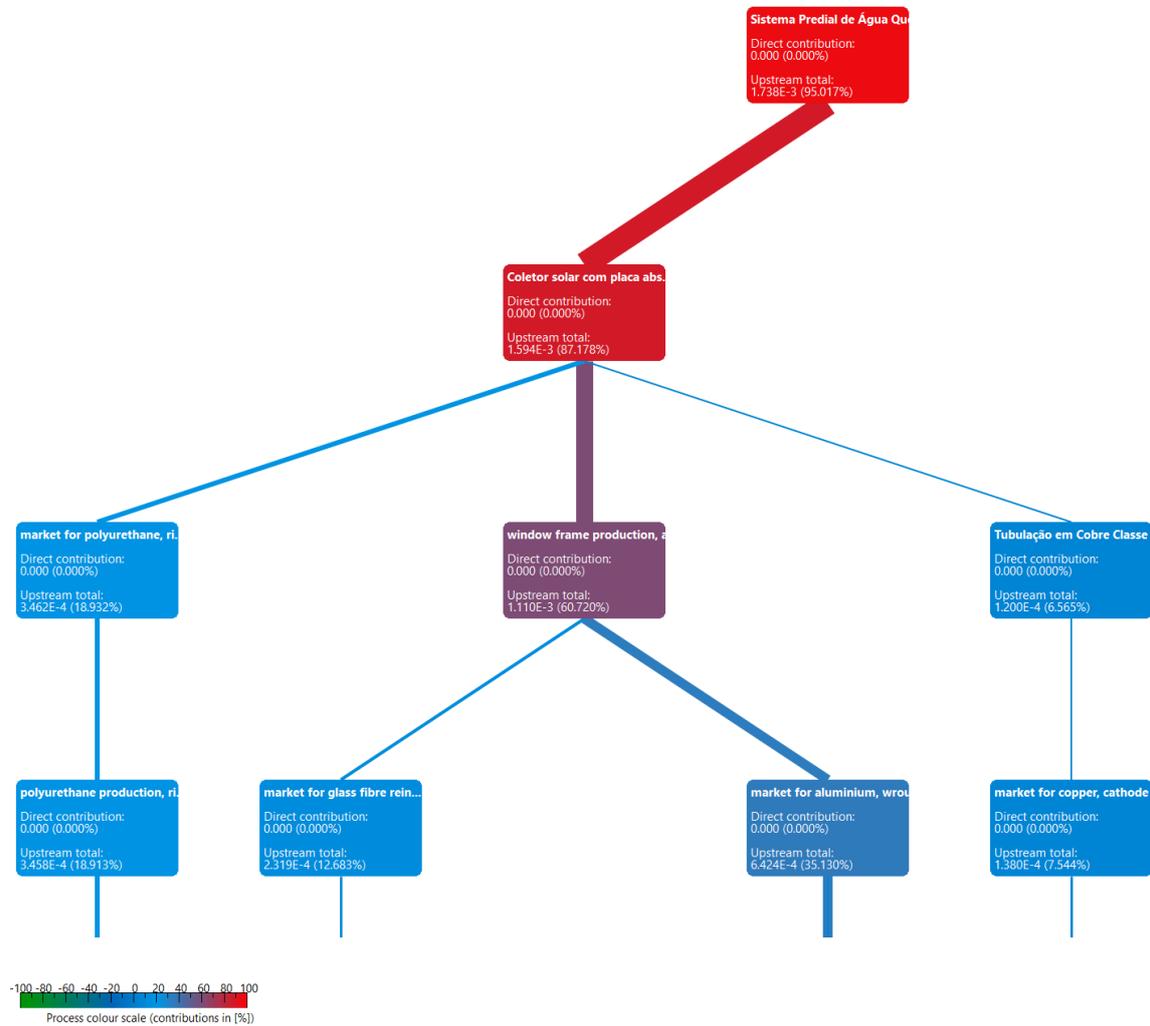
A categoria de impacto representada pela toxicidade humana carcinogênica consiste de outro fator em que o sistema Termo Solar possui maior influência, fator associado ao tratamento de resíduos dos processos de produção dos componentes, principalmente o coletor solar, tais como a lama vermelha resíduo da produção de bauxita.

Com relação à escassez de recursos fósseis, os impactos gerados pelo SPAQ com aquecimento via GN representam apenas 11,49% dos impactos gerados pelo sistema com aquecimento Termo Solar, fator associado diretamente à tubulação utilizada para o sistema de aquecimento via Termo Solar, o CPVC, composto com polímero produzido a partir do craqueamento do petróleo.

Entre outras categorias de relevância para os sistemas encontra-se o aquecimento global, medido por emissões de CO<sub>2</sub> equivalentes. Para o impacto, nota-se que a emissão de carbono do sistema Termo Solar representa aproximadamente 82% da emissão obtida com o sistema de aquecimento via GN.

Com relação à categoria de impacto representada pela escassez de recursos minerais, a análise de impacto demonstra que o sistema com aquecimento via GN contribui em mais que o dobro para o impacto que o sistema via Termo Solar, fator associado diretamente à utilização da tubulação de cobre para abastecimento e distribuição do gás.

As figuras a seguir reproduzem o diagrama de Sankey para o SPAQ com aquecimento via Gás Natural e o SPAQ com aquecimento Termo Solar e complemento elétrico.



**Figura 36: Diagrama de Sankey parcial para SPAQ com aquecimento via Termo Solar e complemento elétrico**

Demonstra-se que a maior contribuição para os impactos gerados pelo sistema Termo Solar consiste no ciclo de vida dos coletores (60,72%), fator diretamente ligado à fase pré-operacional, e que a fase operacional pouco contribui para as categorias de impacto apresentadas.



**Figura 37: Diagrama de Sankey parcial para SPAQ com aquecimento via GN**

Diferentemente do primeiro, o sistema com aquecimento via Gás Natural possui forte influência da fase operacional, tendo em vista que, conforme figura anterior, na qual é evidenciado que aproximadamente 73% dos impactos gerados estão associados ao fornecimento de gás natural ao sistema.

Em conclusão aos resultados obtidos, pode-se inferir que o Sistema Predial de Água Quente com aquecimento via Termo Solar possui melhor desempenho ambiental que o sistema com aquecimento via Gás Natural, ainda que o primeiro se utilize de complementação elétrica para funcionamento adequado. Na maioria das categorias de impacto analisadas, o sistema em questão representa-se mais vantajoso que o gás, fator que deve estar associado principalmente ao consumo de recursos energéticos ao longo da vida útil, tendo em vista que a utilização da irradiação solar contribui muito para o decréscimo da demanda de energia por outra fonte, ainda que não a elimine totalmente.

Além do exposto, outro fator importante para o desempenho consistiu na utilização de tubulação de CPVC para distribuição. No caso do sistema a gás, a utilização da tubulação de cobre possui forte influência no acréscimo de diversos impactos analisados.

É notório que a completeza dos dados coletados é sensível, tendo em vista o fator de utilização de uma base de dados global como fonte, fator que muitas vezes afasta os processos utilizados no sistema do mercado e realidade locais.

Outro fator influente na completeza dos dados encontrou-se no descarte do transporte de materiais em algumas etapas de produção e na construção do sistema, bem como o descarte de perdas nesses processos, elementos os quais não puderam ser obtidos devido à inexistência de informações disponíveis acerca das distâncias de transporte e da própria tipologia dos mesmos, ou do volume e natureza dos resíduos coletados pela construção. Tais elementos podem influenciar fortemente o perfil dos resultados.

Outro fator decisivo para o resultado em questão consiste no tempo operacional aplicado ao sistema, o qual, se variado, influencia diretamente no consumo de água, gás natural e eletricidade, e pode aumentar, caso utilizado

menor valor, no aumento da contribuição do sistema Termo Solar para os resultados das categorias de impacto obtidas.

Por fim, é interessante ressaltar que o sistema com aquecimento Termo Solar possui maior volume de infraestrutura aplicada ao processo de montagem, ocasionando consumo de recursos iniciais mais elevado, contudo, tal fator é equilibrado, ao longo do tempo, pelo consumo menor de recursos energéticos para operação.

Denota-se que o estudo possui aplicabilidade no que diz respeito a nortear a tomada de decisão de projeto sobre qual tipologia de SPAQ deve ser utilizada em determinado empreendimento, ainda que, devido às variáveis descritas, não possua plena fidelidade ao perfil de impactos gerados na realidade do local de instalação.

Entretanto, a ideia de comparação para efeitos de informação do desempenho ambiental é válida e necessária, do ponto de vista em que pode ser utilizada para diversos fins dentro da ótica da equipe de projetos, inclusive para aumentar a demanda do mercado de produção e comercialização de sistemas termo solares no país.

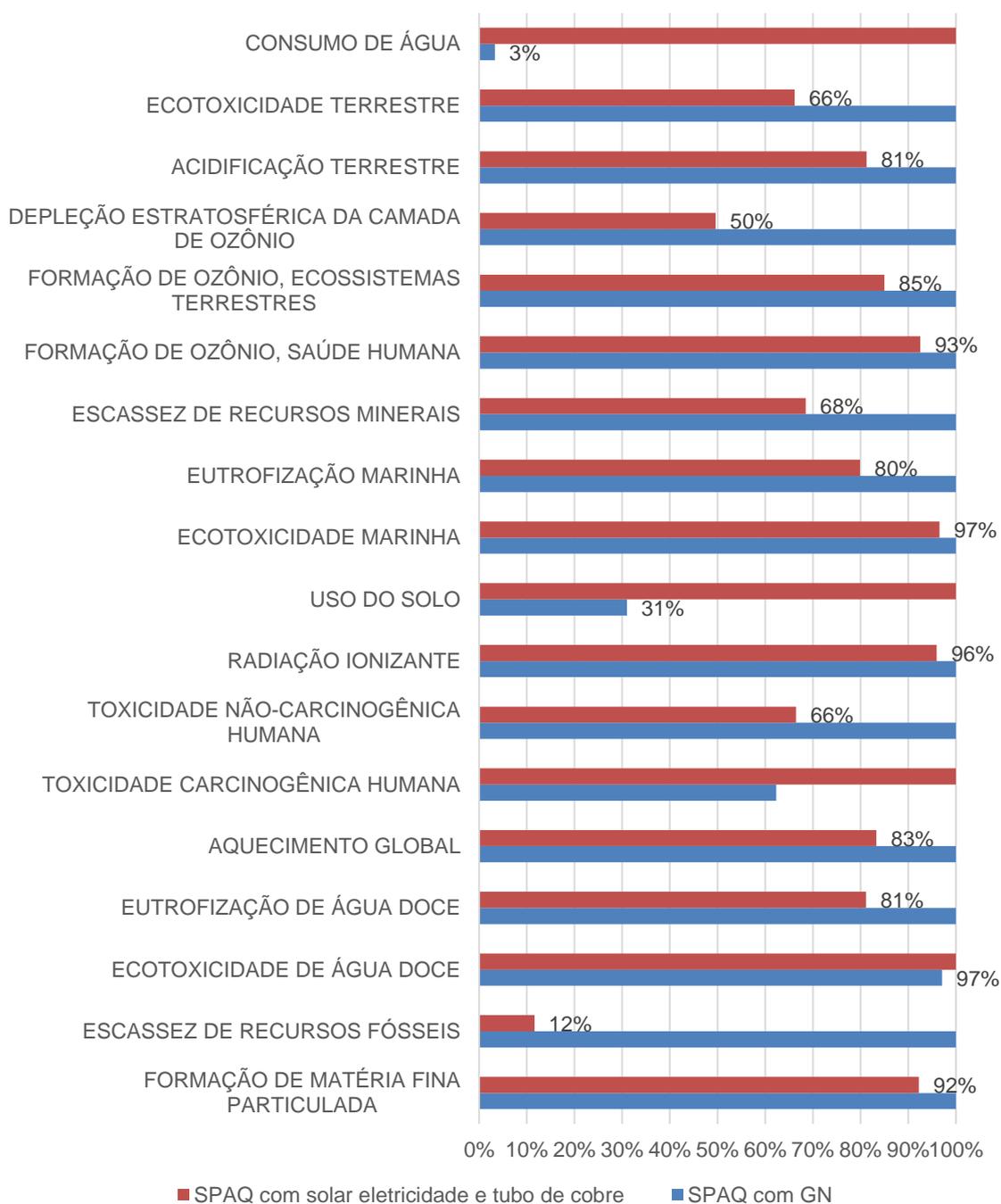
#### **5.9.1. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE**

Com relação aos sistemas estudados, percebe-se as muitas variáveis de tipologia e componentes dos mesmos, fatores que podem influenciar diretamente nos impactos gerados. A variabilidade de materiais empregada nas tubulações, o fator temporal, o tipo e demanda do complemento energético do sistema com aquecimento Termo Solar, o número de banhos quentes, que influencia na demanda de água, a irradiação do local de aplicação, são alguns exemplos de fatores relacionados aos sistemas que influenciam diretamente suas características e seu desempenho ambiental.

Desta forma, foram realizadas três suposições, para avaliação da sensibilidade da modificação de parâmetros envolvidos com os sistemas.

A primeira análise consistiu na modificação da tubulação de CPVC do sistema de aquecimento Termo Solar por tubulação em cobre, aproximando o sistema da realidade do sistema a gás.

Os resultados obtidos para as categorias de impacto encontram-se na figura a seguir, que demonstra a normalização dos mesmos.



**Figura 38: Resultados normalizados para as categorias de impacto ReCiPe midpoint (H) para SPAQ via GN e Termo Solar com eletricidade**

Com a mudança do material da tubulação de CPVC para cobre, nota-se mudança em algumas categorias de impacto, com aumento da contribuição do SPAQ com aquecimento Termo Solar, tais como ecotoxicidade terrestre, acidificação terrestre, depleção da camada de ozônio, formação de ozônio, escassez de recursos minerais (fator diretamente associado à extração de cobre), o que demonstra a forte influência do material de construção empregado nos impactos gerados pelo sistema.

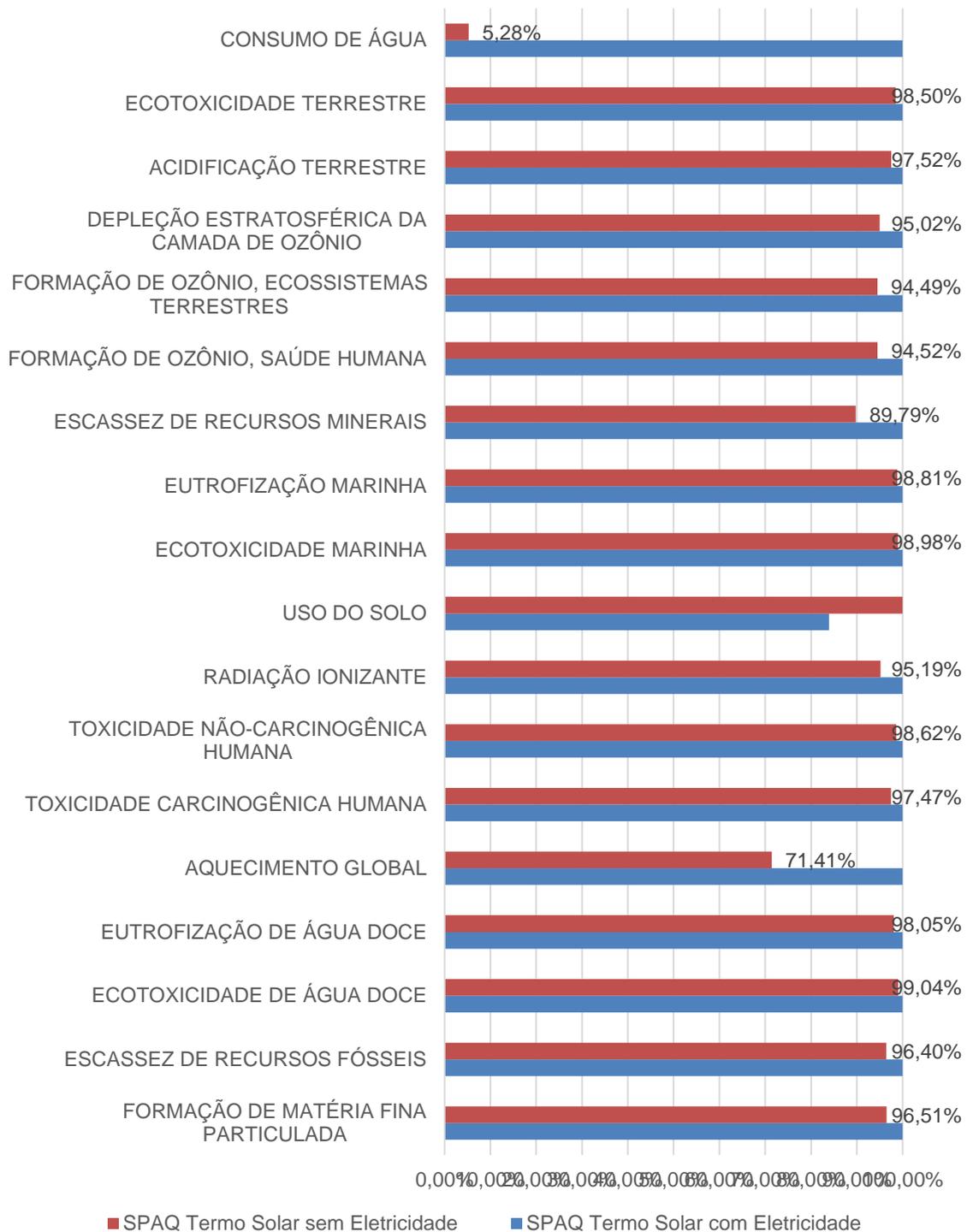
Outra ponderação foi realizada com a retirada do consumo elétrico do sistema Termo Solar, considerando que a insolação média anual é eficiente para o fornecimento energético segundo a demanda do empreendimento.

Neste caso, a influência do fator eletricidade na utilização, para as categorias de impacto, pode-se verificada na figura a seguir, que compara o SPAQ Termo Solar com e sem eletricidade.

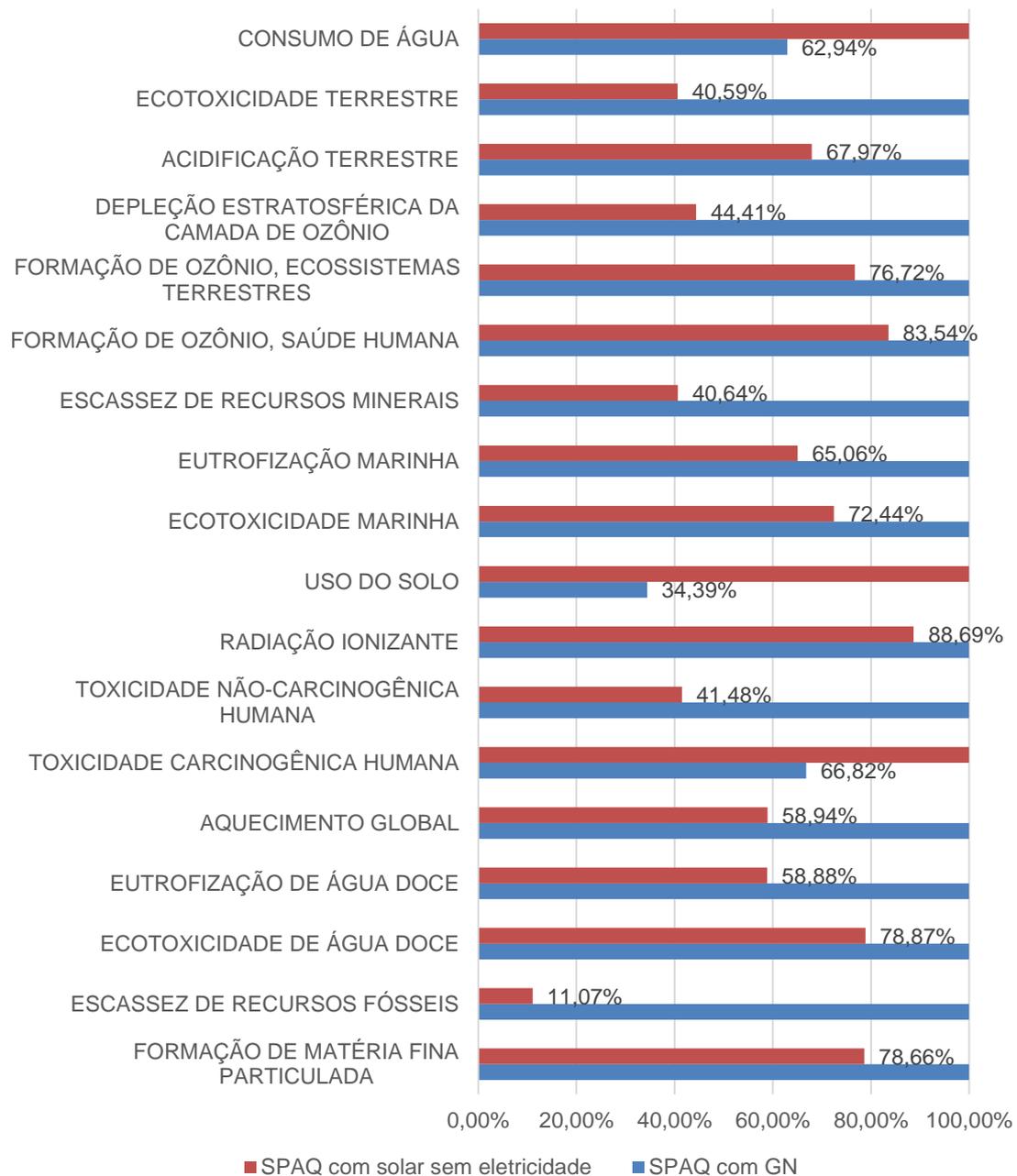
Pode ser observado, pela figura, que o consumo de energia elétrica influenciou negativamente quase a totalidade dos impactos gerados pelo sistema, possuindo a maior discrepância observada no consumo de água pelo ciclo de vida do mesmo, seguido pelo aquecimento global, em que o SPAQ com complemento elétrico possui quase 30% de acréscimo com relação a um sistema hipotético sem complemento de aquecimento.

Por fim, a figura 40 demonstra a comparação entre o sistema com aquecimento Termo Solar sem complemento elétrico e o sistema com aquecimento via Gás Natural.

Nota-se, em comparação ao sistema com aquecimento via Gás Natural, que o Termo Solar melhora seu desempenho ambiental, caso não se utilize de energia elétrica para funcionamento, para praticamente todas as categorias de impacto, configurando-se ainda como o mais favorável para utilização dados aspectos de impactos ambientais, em comparação com a outra fonte energética.



**Figura 39: Resultados normalizados para as categorias de impacto ReCiPe midpoint (H) para SPAQ via Termo Solar com e sem complemento elétrico**



**Figura 40: Resultados normalizados para as categorias de impacto ReCiPe midpoint (H) para SPAQ via GN e Termo Solar sem Eletricidade**

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS

Dada a pesquisa bibliográfica realizada, e em consideração às fontes energéticas utilizadas para o aquecimento durante a fase de uso, confirmou-se o resultado de que o Sistema Predial de Água Quente com aquecimento via Termo Solar tenha desempenho ambiental mais favorável, no que concerne a impactos como consumo de recursos energéticos e emissão de gases do efeito estufa, uma vez que o Gás Natural consiste em combustível fóssil derivado do petróleo, cujas atividades de extração e beneficiamento são potencialmente grandes poluidores, enquanto que o segundo utiliza majoritariamente energia limpa.

Por outro panorama, o sistema de aquecimento solar, ainda que potencialmente menos poluente em fase de uso, apresenta maior demanda de materiais para instalação e utilização, tais como arranjos de coletores solares instalados na cobertura das edificações, tubulação de circulação com isolamento térmico, bombas elétricas para circulação e reservatórios gerais comuns a todo o prédio, os quais devem possuir sistema de alimentação elétrica ou a gás para redundância de fonte energética em caso de a energia térmica coletada pelas placas não seja suficiente para o aquecimento da água até a temperatura ideal para utilização, o que pode identificar potenciais impactos ambientais relacionados à fase de uso e principalmente à fase pré-operacional, de extração e fabricação dos materiais componentes.

Desta forma, o porte dos sistemas, a demanda energética do usuário, o tempo de vida útil analisado, a insolação local e outros fatores são determinantes para os resultados de desempenho ambiental dos dois sistemas prediais comparados, evidenciando a incerteza dos dados no que diz respeito a uma decisão conclusiva e reprodutibilidade em outros empreendimentos.

O estudo em questão, dado o objetivo de obter informações precisas acerca do desempenho ambiental dos Sistemas Prediais de Água Quente alternativos ao sistema convencional largamente utilizado no Brasil, que consiste em aquecimento por via elétrica, conclui que o Sistema via Aquecimento Termo Solar é o com melhor desempenho ambiental se comparado ao sistema via Gás Natural. Contudo, conforme relatado, muitas variantes devem ser levadas em

consideração no que concerne aos dados obtidos e sua confiabilidade, tendo em vista fatores importantes da concepção, instalação e utilização dos mesmos sistemas.

Inicialmente, o porte do sistema predial tem influência direta no potencial de impactos ambientais que este pode causar, uma vez que o Aquecimento Solar necessita de infraestrutura muito mais robusta de instalação que o sistema de aquecimento via Gás Natural, fator que pode pesar em seu desempenho.

Por outro ângulo, o sistema a gás se utiliza de fonte de aquecimento fóssil, que possui uma cadeia produtiva potencialmente poluidora, enquanto que o solar utiliza irradiação natural disponível na atmosfera. Desta forma, o tempo de utilização pode contrabalancear o fator instalação no que diz respeito ao potencial poluidor: uma análise que englobe toda a vida útil tende a favorecer a aplicação do sistema solar em detrimento do gás.

Fatores de real importância para os dados obtidos consistem ainda na regionalização da aplicação e na singularidade dos sistemas, considerando que o *layout* arquitetônico das edificações é mandatório para o arranjo das instalações, o local de aplicação e a disponibilidade de recursos, bem como a cadeia produtiva dos materiais componentes é diferente para cada localidade, dadas as distâncias de extração, manufatura, distribuição e consumo.

Desta forma, os resultados apresentados podem ter variabilidade significativa de alguma grandeza for alterada, e podem não refletir com exatidão a realidade local, considerando ainda a utilização de bases de dados internacionais, como Ecoinvent, para obtenção de informações acerca da cadeia produtiva dos materiais de construção dos sistemas prediais.

Contudo, o valor importante obtido, que consiste no norteamento do perfil de implantação do sistema predial de água quente para um empreendimento residencial é mantido na medida em que, com os resultados, pode-se ter ideia de qual dos sistemas é mais vantajoso implantar para empreendimentos do mesmo porte do estudado, considerando ainda fatores externos à questão ambiental, tais como disponibilidade de recursos de instalação e manutenção ao longo da vida operacional dos equipamentos instalados.

Desta forma, sugere-se que o aprimoramento dos dados seja realizado no que concerne à obtenção de dados regionalizados para o mercado nacional, e mais ainda, se possível, para mercados regionais dentro da esfera de aplicação dos projetos, a fim de que se possa criar banco de dados fruto de resultados de aplicação de estudos similares a sistemas prediais para utilização por projetistas e empresas em decisões de design de empreendimentos e seus subsistemas.

## 1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAVA. **Manual de Capacitação em Projetos de Sistemas de Aquecimento Solar**. [s.l.]: ABRAVA, 2008. 138 p.

ADALBERTH, K. **Energy use during the Life Cycle of Single Unit Dwellings: Examples**. *Building and Environment*, [s.l.], v. 32, nº 4, p. 321–329, 1997.

ADNORMAS. **Os medidores de gás tipo diafragma**. 2019a. Disponível em: <<https://revistaadnormas.com.br/2019/07/02/os-medidores-de-gas-tipo-diafragma/>>. Acesso em: 06/ago./19.

ADNORMAS, R. **A qualidade das tubulações de cobre**. 2019b. Disponível em: <<https://revistaadnormas.com.br/2018/06/06/a-qualidade-das-tubulacoes-de-cobre/>>.

ANAND, C. K.; AMOR, B. **Recent developments, future challenges and new research directions in LCA of buildings: A critical review**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s.l.], v. 67, p. 408–416, 2017.

ANDRADE, A. S. De et al. **Qualidade em Instalações de Aquecimento Solar: Boas Práticas**. São Paulo: [s.n.], 2009a. Disponível em: <[www.procobre.org](http://www.procobre.org)>.

\_\_\_\_\_. **Qualidade em Instalações de Aquecimento Solar: Boas Práticas**. São Paulo: [s.n.], 2009b.

ANDREA, G.; DI, T. **The changing role of life cycle phases , subsystems and materials in the LCA of low energy buildings**. *Energy & Buildings*, [s.l.], v. 42, nº 6, p. 869–880, 2010a. ISSN: 0378-7788, DOI: 10.1016/j.enbuild.2009.12.009.

\_\_\_\_\_. **The changing role of life cycle phases , subsystems and materials in the LCA of low energy buildings**. *Energy & Buildings*, [s.l.], v. 42, nº 6, p. 869–880, 2010b. ISSN: 0378-7788, DOI: 10.1016/j.enbuild.2009.12.009.

ANP, A. N. do P. **Gás Natural**. 2019. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/gas-natural>>. Acesso em: 16/mar./19.

ARIZONA. **Copper Mining and Processing: Processing of Copper Ores**. *Superfund Reserch Program*. [s.d.]. Disponível em: <<https://superfund.arizona.edu/learning-modules/tribal-modules/copper/processing>>. Acesso em: 09/ago./19a.

\_\_\_\_\_. **Copper Mining and Processing: Processing of Copper Ores**. *Superfund Reserch Program*. [s.d.].

ARMSTRONG, G. K. **Princípios de Marketing**. 12 ed. São Paulo: Person Prentice Hall, 2007. 600 p.

ASSOCIATES, F. **Life Cycle Inventory of the Production of Plastic and Metal Pipes for Use in Three Piping Applications**. Kansas: [s.n.], 2011. Disponível em: <file:///C:/Users/Arthur/Downloads/Life Cycle Inventory of Plastic Pipe.pdf>.

BASBAGILL, J.; FLAGER, F.; FISCHER, M. **Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts**. *Building and Environment*2, [s.l.], v. 60, p. 81–92, 2013.

BENEDICTO, S. M. de O. **Desempenho de Sistema Predial de Água Quente**. 200 p. - Universidade Federal de São Carlos, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4646/2658.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

BOTELHO, M. H. C.; RIBEIRO JR, G. de A. **Instalações Hidráulicas Prediais Usando Tubos de PVC e PPR**. 3º Edição ed. São Paulo: Blucher, 2011. 350 p.

BRASIL; EPE; PREFEITURA, Do R. de J. **Mapa Solar do Rio de Janeiro**. 2019. Disponível em: <<http://pcrj.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=029ccb875ca24c209a8572e70a4b6b19>>. Acesso em: 18/mar./19.

CABEZA, L. F. et al. **Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s.l.], v. 29, p. 394–416, 2014. ISBN: 1364-0321, ISSN: 13640321, DOI: 10.1016/j.rser.2013.08.037.

CAIXA. **Minha Casa, Minha Vida - Entidades**. [s.d.]. Disponível em: <[http://www1.caixa.gov.br/gov/gov\\_social/municipal/programas\\_habitacao/entidades/entidades.asp](http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/programas_habitacao/entidades/entidades.asp)>. Acesso em: 30/jul./19.

CANSIA. **Solar Heat: Sustainable Future - Clean Energy Solutions for Canada**. Ottawa, Ontario, CA: [s.n.], 2013.

CBCS. **Sustentabilidade da Construção**. 2007. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br/website/noticia/show.asp?npgCode=DBC0153A-072A-4A43-BB0C-2BA2E88BEBAE>>. Acesso em: 19/maio/19.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos - ferramenta gerencial da ISO 1400**. 1a Edição ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998. 104 p. ISBN: 85-7303-948-23.

CICHINELLI, G. **Tubulações para Gás | Téchne**. *Técche*. 2019. Disponível

em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/196/artigo294027-3.aspx>>. Acesso em: 23/mar./19.

CIMM. **Processos de Usinagem**. [s.d.]. Disponível em: <[https://www.cimm.com.br/portal/material\\_didatico/3350-sistemas-e-processos-de-fabricacao#.XUyj\\_OhKhPY](https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/3350-sistemas-e-processos-de-fabricacao#.XUyj_OhKhPY)>. Acesso em: 09/ago./19.

CLIMATEMPO. **Climatologia: Rio de Janeiro, RJ**. [s.d.].

COELHO FILHO, O.; SACCARO JUNIOR, N. L.; LUEDEMANN, G. **Text for discussion: life cycle assessment as a tool for the formulation of public policies in Brazil**. [s.l.], p. 60, 2016. ISBN: 9788578110796, ISSN: 1415-4765, DOI: 10.1017/CBO9781107415324.004.

COPPE. **Matriz Energética do Estado do Rio de Janeiro: 2015 - 2030**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2016. Disponível em: <[http://www.rj.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=097c98e5-a801-4733-88a7-d51f6ad1494e&groupId=132914](http://www.rj.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=097c98e5-a801-4733-88a7-d51f6ad1494e&groupId=132914)>.

CRESPO MENDES, N.; BUENO, C.; OMETTO, A. R. **Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos** *Palavras-chave. Production*, [s.l.], nº x, 2013. DOI: 10.1590/0103-6513.153213.

CURLEY, R. et al. **Cracking: Chemical process**. *Encyclopaedia Britannica*. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.britannica.com/editor/The-Editors-of-Encyclopaedia-Britannica/4419>>. Acesso em: 06/ago./19.

DANCOR. **Catálogo Geral de Produtos 60Hz**. [s.d.]. Disponível em: <[http://www.dancor.com.br/dancor-site-novo/public/uploads/catalogo\\_geral/catalogo\\_geral-2014.pdf](http://www.dancor.com.br/dancor-site-novo/public/uploads/catalogo_geral/catalogo_geral-2014.pdf)>. Acesso em: 11/ago./19.

DECA. **Chuveiro com tubo de parede: Ficha técnica**. [s.d.]. Disponível em: <[https://files.deca.com.br/static-files/products/1990.C.STD\\_FICHA\\_TECNICA.pdf](https://files.deca.com.br/static-files/products/1990.C.STD_FICHA_TECNICA.pdf)>. Acesso em: 09/ago./19a.

\_\_\_\_\_. **Registro de esfera 1 - Ficha técnica**. [s.d.]. Disponível em: <[https://files.deca.com.br/static-files/products/1552.B.034\\_FICHA\\_TECNICA.pdf](https://files.deca.com.br/static-files/products/1552.B.034_FICHA_TECNICA.pdf)>. Acesso em: 08/ago./19b.

DOLABELLA, A. L. L. B.; ASSAD, E. D. **Plano Nacional: estratégia para disseminar a tecnologia no Brasil**. In: VASCONCELLOS, L. E. M. De; LIMBERGER, M. A. C. (Orgs.). *Energia Solar para aquecimento de Água no Brasil: Contribuições da Eletrobras Procel e Parceiros*. Rio de Janeiro: [s.n.], 2012. p. 240.

ENERGUIDE. **What is a Solar Water Heater**. *Sibelga*. 2019. Disponível em:

<<https://www.energiguide.be/en/questions-answers/what-is-a-solar-water-heater/13/>>. Acesso em: 06/maio/19.

EPE. **Plano Decenal de Expansão da Energia 2027**. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2018.

EVANGELISTA, P. P. A. et al. **Environmental performance analysis of residential buildings in Brazil using life cycle assessment ( LCA )**. *Construction and Building Materials*, [s.l.], v. 169, p. 748–761, 2018. ISSN: 0950-0618, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.02.045.

EXERGIA. **Materials Used for Manufacturing Solar Domestic Hot Water Systems & Comments on their Reliability**. Atenas: [s.n.], 2004. Disponível em: <<http://exergia.gr/wp-content/uploads/materials-domestic-water.pdf>>.

FARIA, C. F. da C. **Introdução ao Sistema de Aquecimento Solar**. In: RODRIGUES, D. (Org.). 1ª Edição ed. Brasília: Ekos Brasil / Vitae Civilis, 2010. 132 p.

FOUQUET, M. et al. **Methodological challenges and developments in LCA of low energy buildings: Application to biogenic carbon and global warming assessment**. *Building and Environment*, [s.l.], v. 90, p. 51–59, 2015.

FUMO, N.; MAGO, P.; LUCK, R. **Methodology to estimate building energy consumption using EnergyPlus Benchmark Models**. *Energy & Buildings*, [s.l.], v. 42, p. 2331–2337, 2010.

GNIPPER, S. F. **Como escolher o isolamento térmico para as tubulações de água quente**. *AECweb*. 2019. Disponível em: <[https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/como-escolher-o-isolamento-termico-para-as-tubulacoes-de-agua-quente\\_16832\\_10\\_0](https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/como-escolher-o-isolamento-termico-para-as-tubulacoes-de-agua-quente_16832_10_0)>.

GREENDELTA. **LCIA Methods: Impact assessment methods in Life Cycle Assessment and their impact categories**. [s.l.]: [s.n.], 2015. 23 p.

GRISON, V.; QUADROS, J. T. **Fabricação de torneiras e válvulas de metal: Processo de fabricação e fornecedores de torneiras e válvulas de metal para banheiro**. [s.l.]: [s.n.], 2013. Disponível em: <[fabricacao\\_de\\_torneiras\\_e\\_valvulas\\_de\\_metal](#)>.

GUIMARÃES, G. **Kit de Energia Solar: Qual a vida útil dos equipamentos?** *SolarVolt*. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/kit-de-energia-solar-vida-util/>>.

HANARIA, J. et al. **Solar Water Heating**. *Energy Education*. 2018. Disponível em: <[https://energyeducation.ca/encyclopedia/Solar\\_water\\_heating#cite\\_note-RE2-2](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Solar_water_heating#cite_note-RE2-2)>. Acesso em: 06/maio/19.

HEIJUNGS, REINOUT; GUINÉE, J. B. **An Overview of the Life Cycle Assessment Method -- Past, Present and Future**. In: CURRAN, M. A. (Org.). *Life Cycle Assessment Handbook: A guide for Environmentally Sustainable Products*. Cincinnati, OH, USA: Scrivener Publishing LLC, 2012.

HELIOTEK. **Coletor Solar MC Evolution e MC Evolution Pro - Ficha Técnica**. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.heliotek.com.br/servicos/download>>. Acesso em: 11/ago./19.

HOUSSAIN, A. **A Study on Manufacturing Process of Centrifugal Pumps at Milnars Pumps Limited**. Tongi: [s.n.], 2016.

IBGE. **Panorama Populacional do Rio de Janeiro**. 2019. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/panorama>>. Acesso em: 16/mar./19.

IBICT. **Manual do Sistema ILCD (Sistema Internacional de Referência de Dados do Ciclo de Vida de Produtos e Processos) - Guia Geral para Avaliações do Ciclo de Vida: Orientações Detalhadas**. Brasília: IBICT (Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia), 2014. 319 p. ISBN: 9789279190926.

\_\_\_\_\_. **O que é Avaliação do Ciclo de Vida**. ACV. 2019. Disponível em: <<http://acv.ibict.br/acv/o-que-e-o-acv/>>. Acesso em: 08/abr./19.

INABA, A. et al. **Chapter 4: Data Documentation, Review, and Management**. *Global Guidance Principles for Life Cycle Assessment Databases: A Basis for Greener Processes and Products*. [s.l.]: [s.n.], 2011. p. 85–95. ISBN: 978-92-807-3174-3.

INMETRO. **PBE - Coletor Solar aplicação Banho e Piscina - Tabelas de Consumo / Eficiência Energética**. *Programa Brasileiro de Etiquetagem*. 2018.

INNOVA. **Manual de Extrusão**. [s.l.]: [s.n.], [s.d.]. Disponível em: <<http://www.innova.com.br/arquivos/documentos/relatorio/artigo/56785d393bb51.pdf>>.

INSTITUTE, P. P. **Polyethylene of Raised Temperature (PE-RT)**. 2019. [s.d.]. Disponível em: <<https://plasticpipe.org/building-construction/bcd-pe-rt.html>>. Acesso em: 27/mar./19.

JANNUZZI, Gilberto de Martino; SCHIPPER, L. **The structure of electricity demand in the Brazilian household sector**. *Energy Policy*, [s.l.], v. 9, nº 19, p. 810–904, 1991.

JANNUZZI, Gilperto de Martino; SCHIPPER, L. **The structure of electricity demand in the Brazilian household sector**. *Energy Policy*, [s.l.], v. 19, nº 9, p. 879–891, 1991.

JORDAN, D. C.; KURTZ, S. R. **Photovoltaic Degradation Rates - An Analytical Review**. Springfield: [s.n.], 2012. Disponível em: <<https://www.nrel.gov/docs/fy12osti/51664.pdf>>.

KLOPFER, W. **Introducing Life Cycle Assessment and its presentation in "LCA Compendium"**. In: KLOPFER, W. (Org.). *Background and Future Prospects in Life Cycle Assessment*. Frankfurt, Alemanha: Springer, 2014. p. 39–84.

KULAY, LUIZ ALEXANDRE; VIÑAS, RAFAEL SELVAGGIO; HESPANHOL, I. **Avaliação de desempenho ambiental de sistemas para fornecimento de água quente para uso doméstico**. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, [s.l.], v. 10, nº 2, 2015. DOI: 10.4136/1980-993X.

LAMECC. **Aquecedores de Passagem**. UFRGS. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/lamecc/projetos/Aquecedores>>. Acesso em: 06/ago./19.

LAO. **Medidor de Gás G 0.6: Especificações Técnicas**. 2019. Disponível em: <<http://www.laoindustria.com.br/images/uploads/Medidores de Gás.pdf>>. Acesso em: 08/ago./19.

\_\_\_\_\_. **Hidrômetro Multijato Magnético DN25 DN40 DN50 Classe B - Catálogo**. [s.d.]. Disponível em: <[http://www.laoindustria.com.br/images/uploads/Hidrômetro Multijato Magnético - DN25\\_DN40\\_DN50 - Classe B.pdf](http://www.laoindustria.com.br/images/uploads/Hidrômetro Multijato Magnético - DN25_DN40_DN50 - Classe B.pdf)>. Acesso em: 11/ago./19.

LIQUIGÁS. **GLP a Granel: Tipos de Instalações**. 2019a. Disponível em: <[https://www.liquigas.com.br/wps/portal!/ut/p/z0/04\\_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfljo8zivf0MjIw83l0MDFzcyjAyMgolCLAM9XAYdXY31C7ldFQH5Vk2E/p0/IZ7\\_KN022HG20OVI40270TOD3A1OM4=CZ6\\_KN022HG200DF202RRP9QHD1CE3=MECTX!QCPWebQCACContentQCPLiquigasQCPCMenuQCPCProdutosQCAeQCAASer](https://www.liquigas.com.br/wps/portal!/ut/p/z0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfljo8zivf0MjIw83l0MDFzcyjAyMgolCLAM9XAYdXY31C7ldFQH5Vk2E/p0/IZ7_KN022HG20OVI40270TOD3A1OM4=CZ6_KN022HG200DF202RRP9QHD1CE3=MECTX!QCPWebQCACContentQCPLiquigasQCPCMenuQCPCProdutosQCAeQCAASer)>. Acesso em: 17/mar./19.

\_\_\_\_\_. **O que é GLP**. Petrobras. 2019b. Disponível em: <[https://www.liquigas.com.br/wps/portal/glp/?WCM\\_GLOBAL\\_CONTEXT=/wps/portal!/ut/p/z0/fY1BCslwEEWvkk3WMwYUXQpFq4JoV-1sJJYaRuM0sal6fEMP4PJ9Hv8BQQ0k9s30Ju7F-swNLS6HlXpTbg1isTFoquq0OpfFbLmbwx7ov5Af-B4jrYHaXIL3TVB\\_uquaQJJGz3HMwUHjs5NRo\\_NB442HEDUG61isCi-WloP1ato](https://www.liquigas.com.br/wps/portal/glp/?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/portal!/ut/p/z0/fY1BCslwEEWvkk3WMwYUXQpFq4JoV-1sJJYaRuM0sal6fEMP4PJ9Hv8BQQ0k9s30Ju7F-swNLS6HlXpTbg1isTFoquq0OpfFbLmbwx7ov5Af-B4jrYHaXIL3TVB_uquaQJJGz3HMwUHjs5NRo_NB442HEDUG61isCi-WloP1ato)>. Acesso em: 17/mar./19.

MACHADO, G. **Aprenda como funciona a gestão de Stakeholders na Construção Civil**. *Halo Notoriedade Empresarial*. 2017. Disponível em: <<http://halonoriedade.com.br/aprenda-como-funciona-a-gestao-de-stakeholders-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 07/abr./19.

MACINTYRE, A. J. **Instalações Hidráulicas Prediais e Industriais**. 4ª Edição ed. [s.l.]: LTC, 2010. 596 p.

MAISPOLÍMEROS. **Plástico ABS e suas principais características e aplicações.** [s.d.]. Disponível em: <<http://www.maispolimeros.com.br/2018/09/24/plastico-abs-e-suas-principais-caracteristicas-e-aplicacoes/>>. Acesso em: 09/ago./19.

MARQUES, V. de L. **Modelo para a Gestão de Stakeholders em Empresas de Construção Civil.** 336 p. - Universidade Federal Fluminense, 2015. Disponível em: <[http://www.takaiconsultoria.com.br/wp-content/uploads/2017/04/Tese\\_Marques-VL\\_Final.pdf](http://www.takaiconsultoria.com.br/wp-content/uploads/2017/04/Tese_Marques-VL_Final.pdf)>.

MEEEX, E. et al. **Requirements for applying LCA-based environmental impact assessment tools in the early stages of building design.** *Building and Environment*, [s.l.], v. 133, p. 228–236, 2018.

NAJJAR, M. et al. **Integration of BIM and LCA: Evaluating the environmental impacts of building materials at an early stage of designing a typical office building.** *Journal of Building Engineering*, [s.l.], v. 14, p. 115–126, 2017.

OCHSENDORF, J. et al. **Methods, Impacts, and Opportunities in the Concrete Building Life Cycle.** Cambridge, MA: [s.n.], 2011. Disponível em: <<https://www.greenconcrete.info/downloads/MITBuildingsLCAreport.pdf>>.

ONU. **Report of the World Commission on Environment and Development - Our Common Future: Brundtland Report.** [s.l.]: [s.n.], 1987.

OPENLCA. **OpenLCA Nexus.** [s.d.]. Disponível em: <<https://nexus.openlca.org/about>>. Acesso em: 12/ago./19a.

\_\_\_\_\_. **Why we started the development of openLCA.** [s.d.]. Disponível em: <<http://www.openlca.org/the-idea/>>. Acesso em: 12/ago./19b.

OYARZO, J.; PEUPORTIER, B. **Life cycle assessment model applied to housing in Chile.** *Journal of Cleaner Production*, [s.l.], v. 69, n° March 2012, p. 109–116, 2014. ISSN: 0959-6526, DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.01.090.

PAULA, R. R. De. **Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de Argamassas e Concretos Produzidos com Resíduos de Construção e Demolição (RCD).** 155 p. - UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.

PMI. **Guia PMBOK - Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos.** 6ª Edição ed. Newtown Square: [s.n.], 2017. 762 p.

PPI. **Residential PEX Water Supply Plumbing Systems: Design Guide.** 2ª Edição ed. [s.l.]: Home Innovation Research Labs, 2013. 144 p.

\_\_\_\_\_. **Chlorinated Polyvinyl Chloride (CPVC).** *Plastics Pipe Institute.* 2019.

Disponível em: <<https://plasticpipe.org/ppi-staff.html>>. Acesso em: 24/mar./19.

RAMESH, T.; PRAKASH, R.; SHUKLA, K. K. **Life cycle energy analysis of buildings : An overview**. [s.l.], v. 42, p. 1592–1600, 2010. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.05.007.

REES, W. E. **Revisiting Carrying Capacity: Area-Based Indicators of Sustainability**. *Population and Environment*, [s.l.], v. 17, nº 3, p. 195–215, 1996.

REVISTA TÉCNNE. **O que são aditivos de concreto superplastificantes? De que forma agem quimicamente e em que medida ajudam na concretagem de estruturas com grande concentração de armaduras? Há contraindicações de uso? – Técnica**. 15 de março. 2017. Disponível em: <<https://techne.pini.com.br/2017/03/o-que-sao-aditivos-de-concreto-superplastificantes-de-que-forma-agem-quimicamente-e-em-que-medida-ajudam-na-concretagem-de-estruturas-com-grande-concentracao-de-armaduras-ha-contraindicacoes-de-uso/>>. Acesso em: 15/jan./19.

RINNAI. **Aquecedor a Gás M09 - Especificações**. [s.d.].

RIVM. **LCIA: The ReCiPe Model**. 2018. Disponível em: <<https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/recipe>>. Acesso em: 08/abr./19.

ROBAYO-SALAZAR, R. et al. **Life cycle assessment (LCA) of an alkali-activated binary concrete based on natural volcanic pozzolan: A comparative analysis to OPC concrete**. *Construction and Building Materials*, [s.l.], v. 176, p. 103–111, 2018. ISSN: 09500618, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.017.

SAEPRO. **O conceito BIM (Building Information Model)**. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/saepr/saepr-2/conheca-o-projeto/o-conceito-bim-building-information-model/>>. Acesso em: 07/maio/19.

SAXSMA, A. J. **How is Copper Tubing Made?** *Hunker*. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.hunker.com/12196022/how-is-copper-tubing-made>>. Acesso em: 09/ago./19.

SBCOACHING. **Stakeholder: O que são e Como Identificar (Guia Completo)**. 2018. Disponível em: <<https://www.sbcoaching.com.br/blog/carreira/stakeholder/>>. Acesso em: 07/abr./19.

SEEG. **Panorama Energia**. 2019. Disponível em: <<http://seeg.eco.br/panorama-energia/>>. Acesso em: 26/abr./19.

SILVA, G. A. Da et al. **Avaliação do ciclo de vida: ontologia terminológica.** Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia - Ibict. [s.l.]: [s.n.], 2014. 72 p. ISBN: 972-99478-0-5, DOI: 978-85-7013-103-4 1.

SOLETROL. **Reservatórios Térmicos para Grandes Volumes de Água Quente.** [s.d.]. Disponível em: <<https://www.soletrol.com.br/produtos/reservatorios-termicos/aquecedor-solar-grandes-obras/>>. Acesso em: 11/ago./19.

SOLORIO, J. **How Industrial CPVC is Made: From material engineering to finished product.** Corzan - Industrial Systems. 2018. Disponível em: <<https://www.corzan.com/blog/how-industrial-cpvc-is-made-from-material-engineering-to-finished-product>>. Acesso em: 06/ago./19.

STRANDDORF, H. K.; HOFFMANN, L. **Update on Impact Categories, Normalisation and Weighting in LCA-Selected EDIP97-data.** Danish Environmental Protection Agency, [s.l.], nº 995, p. 290, 2005a.

\_\_\_\_\_. **Update on Impact Categories, Normalisation and Weighting in LCA-Selected EDIP97-data.** Danish Environmental Protection Agency, [s.l.], nº 995, p. 290, 2005b.

SVENSON, E. **DuraChrome Hard Chromium Plating.** In: *Plating Resources Inc.* Cocoa, Florida: [s.n.], 2006a. Disponível em: <<http://www.plating.com/Book.pdf>>. Acesso em: 09/ago./19.

\_\_\_\_\_. **DuraChrome Hard Chromium Plating.** In: *Plating Resources Inc.* Cocoa, Florida: [s.n.], 2006b.

SYLVIN. **Injection Molding Processing Guides.** *Steel World.* [s.d.]. Disponível em: <<http://www.sylvin.com/Processing/Injection-Molding/Injection-Molding-Processing-Guidelines>>. Acesso em: 06/ago./19.

ULTRAGAZ. **Botijão de Gás para Cozinha.** 2019. Disponível em: <<https://www.ultragaz.com.br/residencial/gas-para-residencia>>. Acesso em: 17/mar./19.

UNEP. **Evaluation of Environmental Impacts in Life Cycle Assessment.** Bruxelas, Bélgica: [s.n.], 2003.

\_\_\_\_\_. **Avaliação de Políticas Públicas para Redução da Emissão de Gases de Efeito Estufa em Edificações.** São Paulo: [s.n.], 2009. Disponível em: <[http://www.cbcs.org.br/userfiles/comitestematicos/outrosem sustentabilidade/UNEP\\_capa-miolo-rev.pdf](http://www.cbcs.org.br/userfiles/comitestematicos/outrosem sustentabilidade/UNEP_capa-miolo-rev.pdf)>.

\_\_\_\_\_. **Energy Efficiency for Buildings.** Paris, FR: [s.n.], 2018. Disponível

em: <[http://www.studiocollantin.eu/pdf/UNEP Info sheet - EE Buildings.pdf](http://www.studiocollantin.eu/pdf/UNEP%20Info%20sheet%20-%20EE%20Buildings.pdf)>.

US EPA, R. 06. **Learn About Environmental Management Systems**. [s.d.].

Disponível em: <[https://www.epa.gov/ems/learn-about-environmental-management-systems#what-is-an-EMS](https://www.epa.gov/ems/learn-about-environmental-management-systems#what-is-an-ems)>. Acesso em: 03/maio/19.

VERÓL, ALINE PIRES; VAZQUEZ, ELAINE GARRIDO; MIGUEZ, M. G.

**Sistemas Prediais Hidráulicos e Sanitários: Projetos Práticos e Sustentáveis**. 1ª Edição ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019. 427 p.

WANG, H. et al. **Chapter 2: Development of Unit Process Datasets**. *Global Guidance Principles for Life Cycle Assessment Databases: A Basis for Greener Processes and Products*. [s.l.]: [s.n.], 2011. p. 53–65.

WIEBECK, H.; HARADA, J. **Plásticos de Engenharia: Tecnologia e Aplicações**. 1ª Edição ed. São Paulo: Artliber Editora, 2005. 342 p.

ZABALZA BRIBIÁN, I.; ARANDA USÓN, A.; SCARPELLINI, S. **Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification**. *Building and Environment*, [s.l.], v. 44, nº 12, p. 2510–2520, 2009. ISSN: 03601323, DOI: 10.1016/j.buildenv.2009.05.001.

**Fundação Bento Rubião: Programas**. 2019. Disponível em:

<<http://www.bentorubiao.org.br/programas/direito-a-habitacao/>>. Acesso em: 30/jul./19.

## **ANEXOS**



CIDADE DO SAMBA

**OBSERVAÇÕES**

- 1 - COTAS E NÍVEIS EM METROS
- 2 - CONFIRMAR COTAS NO LOCAL
- 3 - DIMENSÕES NÃO COTADAS TÊM 10 CM
- 4 - PAREDES NÃO COTADAS TÊM 15cm
- 5 - OS COMPARTIMENTOS QUE NÃO POSSUEM VENTILAÇÃO NATURAL, SERÃO VENTILADOS POR REBAIXO

TERREDO	UNIDADES	ÁREAS (m <sup>2</sup> )
TOTAL APARTAMENTOS	24	1095,67
APT. PORTADORES NECESSIDADES ESPECIAIS	24	1095,67
APT. 01 QUARTO	11	434,24
APT. 02 QUARTOS	13	661,43
CIRCULAÇÃO		348,62
ÁREA COMUNITÁRIA		343,05
ÁREAS GERAIS		
TOTAL CONSTRUÍDO		1757,50
TOTAL LIVRE		1700,00

assunto:  
 MCMV - MINHA CASA, MINHA VIDA - ENTIDADES - GAMBOA  
 PROJETO DE HABITAÇÃO MULTIFAMILIAR LOCALIZADO NOS TERRENOS 347 A 365/367 DA RUA DA GAMBOA, BAIRRO DA GAMBOA, RIO DE JANEIRO, RJ

escala: 1/100  
 data: 08/07/2013  
 projeto nº: G\_PL\_120305  
 desenho: Carol Rezende

O PROPRIETÁRIO: FUNDAÇÃO BENTO RIBEIRO  
 O AUTOR DO PROJETO: CHIO DA SILVA ARQUITETOS LTDA  
 ANO CAROLINA REZENDE OLIVEIRA LIMA  
 CRI Nº 48821-6  
 O RESP.P.EXEC.DA OBRA: FUNDAÇÃO BENTO RIBEIRO  
 ANO ALVARO CORREA DE OLIVEIRA  
 CREA Nº 1988101523 RJ  
 nº processo: \_\_\_\_\_  
 obs: \_\_\_\_\_

visto: \_\_\_\_\_



- 15

01 PAVI TIPO  
ESCALA: 1/200

**OBSERVAÇÕES**

- 1 - COTAS E NÍVEIS EM METROS
- 2 - CONFIRMAR COTAS NO LOCAL
- 3 - PAREDES NÃO COTADAS TÊM 10 CM
- 4 - PAREDES NÃO COTADAS TÊM 15cm
- 5 - OS COMPARTIMENTOS QUE NÃO POSSUEM VENTILAÇÃO NATURAL, SERÃO VENTILADOS POR REBAIXO

TÉRREDO	UNIDADES	ÁREAS (m <sup>2</sup> )
TOTAL APARTAMENTOS	24	1095,67
APT. PORTADORES NECESSIDADES ESPECIAIS	24	1095,67
APT. 01 QUARTO	11	434,24
APT. 02 QUARTOS	13	661,43
CIRCULAÇÃO		348,62
ÁREA COMUNITÁRIA		343,05
ÁREAS GERAIS		
TOTAL CONSTRUIDO		1757,50
TOTAL LIVRE		1700,00

assunto:  
MCMV - MINHA CASA, MINHA VIDA - ENTIDADES - GAMBOA  
PROJETO DE HABITAÇÃO MULTIFAMILIAR LOCALIZADO NOS TERRENOS 347 A 365/367 DA RUA DA GAMBOA, BAIRRO DA GAMBOA, RIO DE JANEIRO, RJ

escala:	1/100	projeto nº:	G_PL_120305
data:	08/07/2013	assunto:	PLANTA BAIXA DO TERREO
		desenho:	Carol Rezende

O PROPRIETÁRIO: FUNDAÇÃO BENTO RIBBO

O AUTOR DO PROJETO: CHIO DA SILVA ARQUITETOS LTDA  
AND CAROLINA REZENDE OLIVEIRA LIMA  
CAU Nº ABR21-6

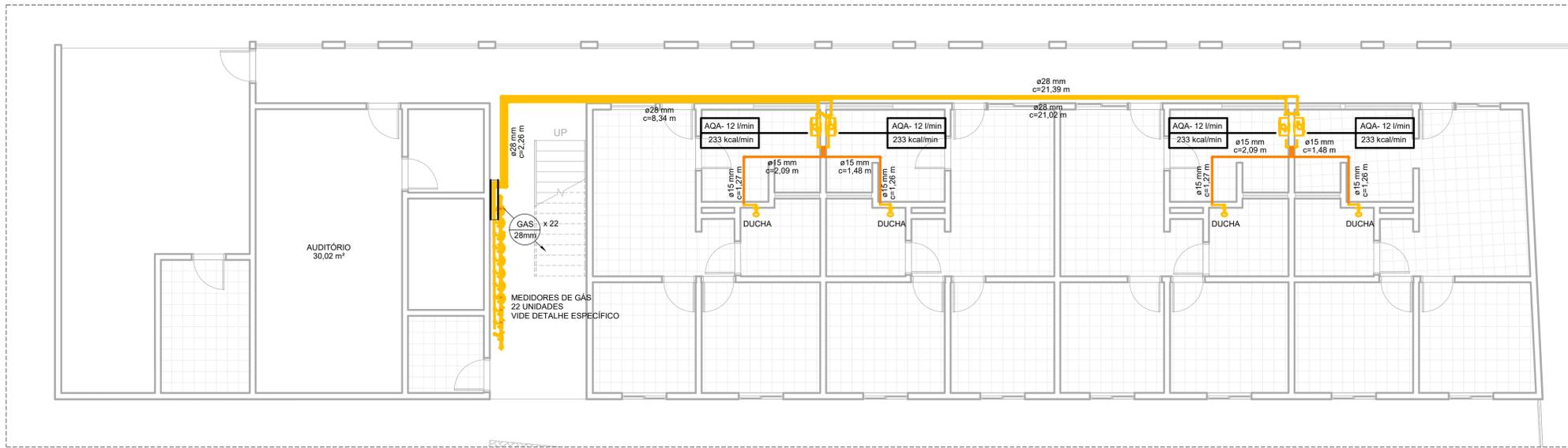
O RESP.P.EXEC.DA OBRA: FUNDAÇÃO BENTO RIBBO  
AND ALVARO CORREA DE OLIVEIRA  
CREA Nº 1989101523 RJ

nº processo:      obs:

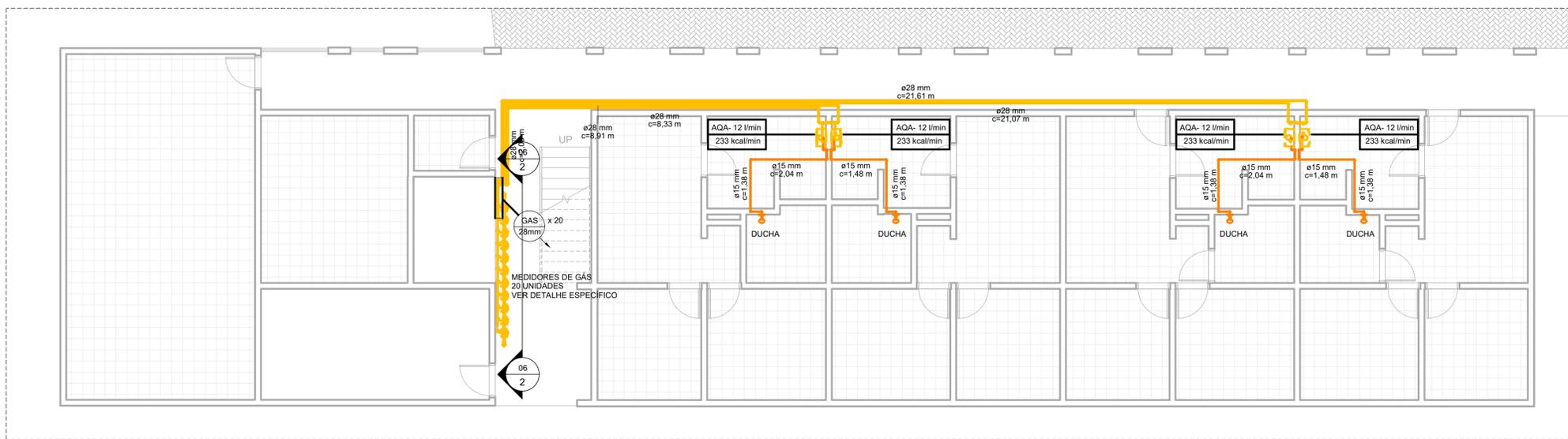
visto:

**CHIO DA SILVA** CHIO DA SILVA ARQUITETOS LTDA  
Email: contato@chiossilva.com

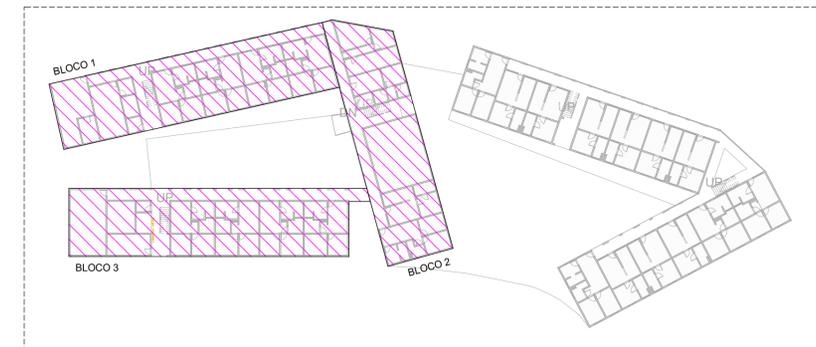




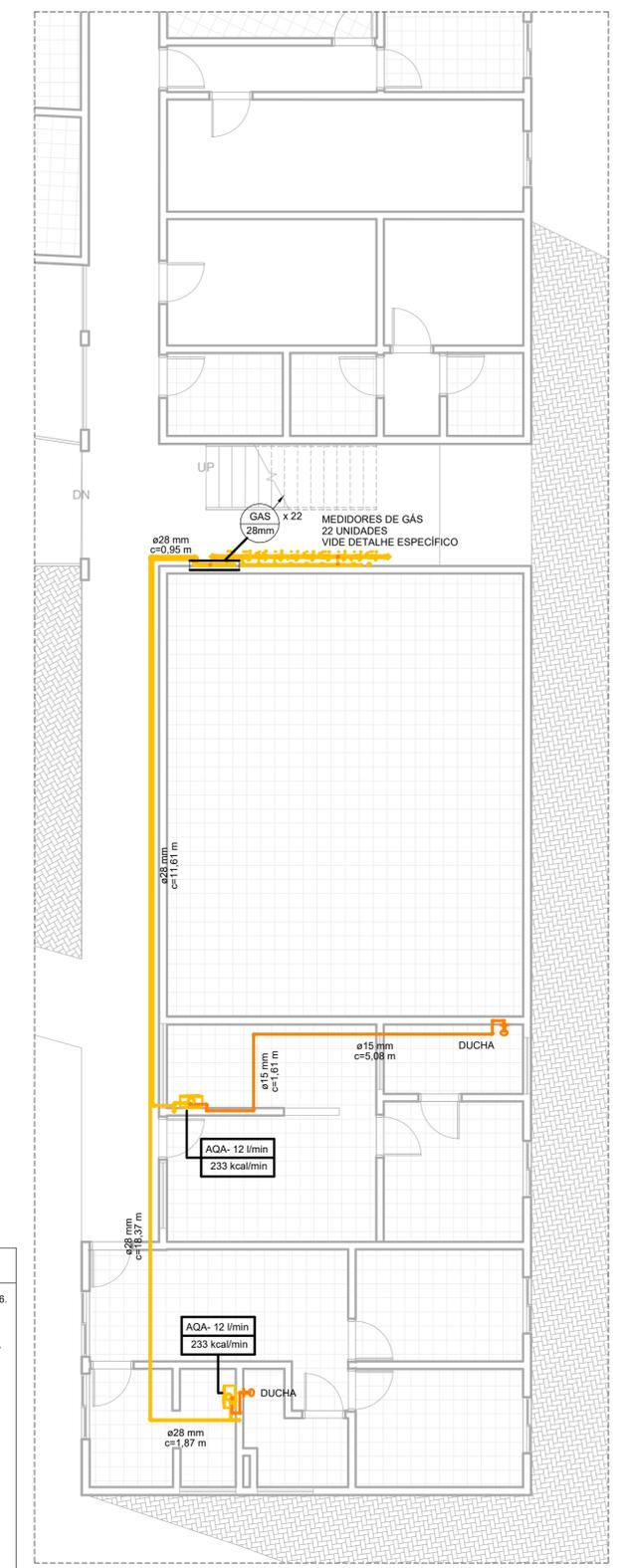
1 TÉRREO BLOCO 1  
ESCALA 1:75



3 TÉRREO BLOCO 3  
ESCALA 1:75



4 PLANTA CHAVE A TÉRREO  
ESCALA 1:500



2 TÉRREO BLOCO 2  
ESCALA 1:75

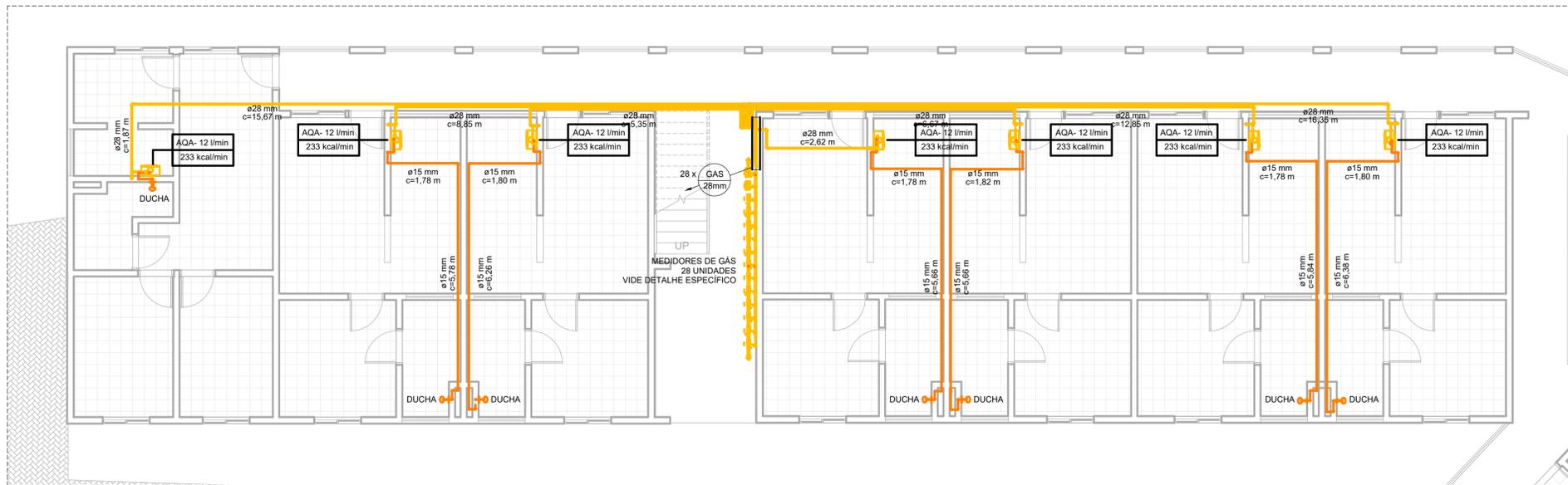
QUADRO DE NOTAS

- 01 - SERÃO UTILIZADOS TUBOS DE COBRE, SEM COSTURA, CLASSE "A" ATENDENDO AS ESPECIFICAÇÕES DA NBR 13206.
- 02 - AS CONEXÕES SERÃO EM FERRO MALEÁVEL ATENDENDO AS ESPECIFICAÇÕES DA NBR 6943.
- 03 - NA VEDAÇÃO POR ROSCAS DEVEM SER UTILIZADOS VEDANTES PASTOSOS OU FITA TIPO TEFLON SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO DE VEDANTES TIPO ZARCÃO OU À BASE DE TINTAS OU FIBRAS VEGETAIS.
- 04 - O TUBO FLEXÍVEL PARA INSTALAÇÕES DE GÁS DEVERÁ SER IDENTIFICADO E TRAZER DE FORMA INDELÍVEL O NÚMERO DA NORMA NBR 14177 E MARCA DE CONFORMIDADE.
- 05 - NENHUM ELEMENTO ESTRUTURAL INTERFERIRÁ NA PASSAGEM DO RAMAL.
- 06 - NA TRAVESSIA DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS PREVER A UTILIZAÇÃO DE TUBOS-LUVA.
- 07 - AS TUBULAÇÕES DE GÁS DEVERÃO MANTER UMA DISTÂNCIA MÍNIMA DE 20cm DAS CANALIZAÇÕES DE OUTRA NATUREZA.
- 08 - AS RAMIFICAÇÕES DE GÁS SOMENTE SERÃO APROVADAS DEPOIS DE SUBMETIDAS, PELO INSTALADOR, À PROVA PRELIMINAR DE ESTANQUEIDADE MEDIANTE EMPREGO DE AR COMPRIMIDO OU GÁS INERTE COM PRESSÃO DE 1.000 mmca DURANTE 60 min.
- 09 - OS AMBIENTES DESTINADOS A APARELHOS À GÁS DEVERÃO SER VENTILADOS PERMANENTEMENTE.
- 10 - O INSTALADOR É RESPONSÁVEL PELO FIEL CUMPRIMENTO DE TODOS OS PRECITOS ESTABELECIDOS PELO REGULAMENTO DE INSTALAÇÕES PREDIAIS.

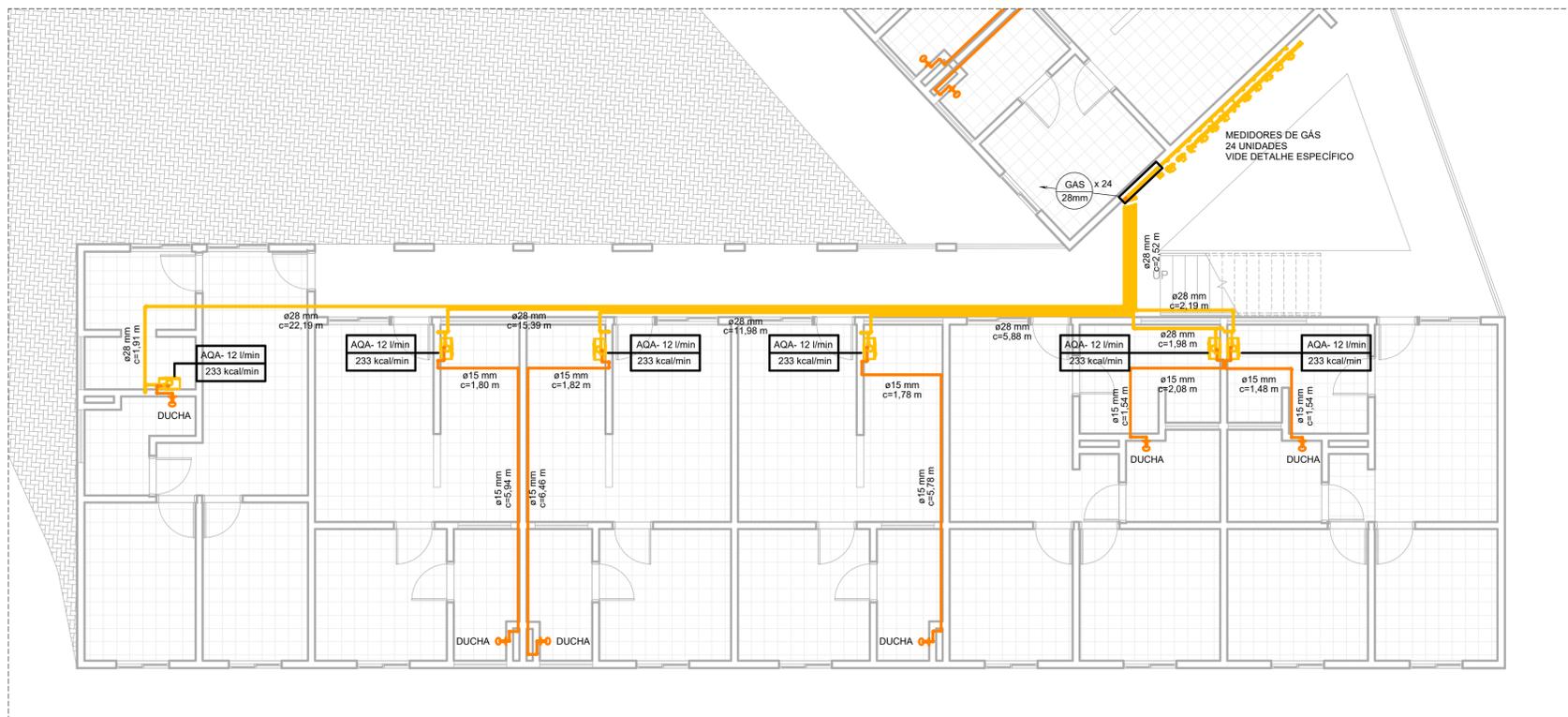
LEGENDA E SIMBOLOGIA

- TUBULAÇÃO DISTRIBUIÇÃO DE GÁS ENCANADO EM COBRE CLASSE "A" APARENTE, EMBUTIDA OU ENTERRADA
- TUBULAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA QUENTE EM CPVC
- MEDIDOR
- TUBULAÇÃO QUE SOBE
- TUBULAÇÃO QUE DESCE
- IDENTIFICAÇÃO DO APARELHO E CONSUMO CORRESPONDENTE EM kcal/min
- REPRESENTAÇÃO DE COLUNAS

PROJETO: <b>PEA UFRJ - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO</b> <b>CONJUNTO HABITACIONAL QUILOMBO DA GAMBOA</b> <b>FUNDAÇÃO BENTO RUBIÃO</b> RUA DA GAMBOA, TERRENOS 347 A 365/367, BAIRRO DA GAMBOA RIO DE JANEIRO, RJ		
ESPECIALIDADE: ÁGUA QUENTE COM AQUECIMENTO A GÁS NATURAL	ETAPA: <b>ESTUDO PRELIMINAR</b>	ESCALA: As indicated
ASSUNTO: <b>PLANTA PAV TÉRREO A - BLOCOS 1, 2 E 3</b>		
PROJETO: ARTHUR BASTOS ENGENHEIRO CIVIL	REGISTRO: 2015113134 - CREARJ	DESENHO: <b>02 / 06</b>
DESENHO:	DATA ÚLTIMA EMISSÃO:	



1 TÉRREO BLOCO 4  
ESCALA 1:75



2 TÉRREO BLOCO 5  
ESCALA 1:75



3 PLANTA CHAVE B TÉRREO  
ESCALA 1:500

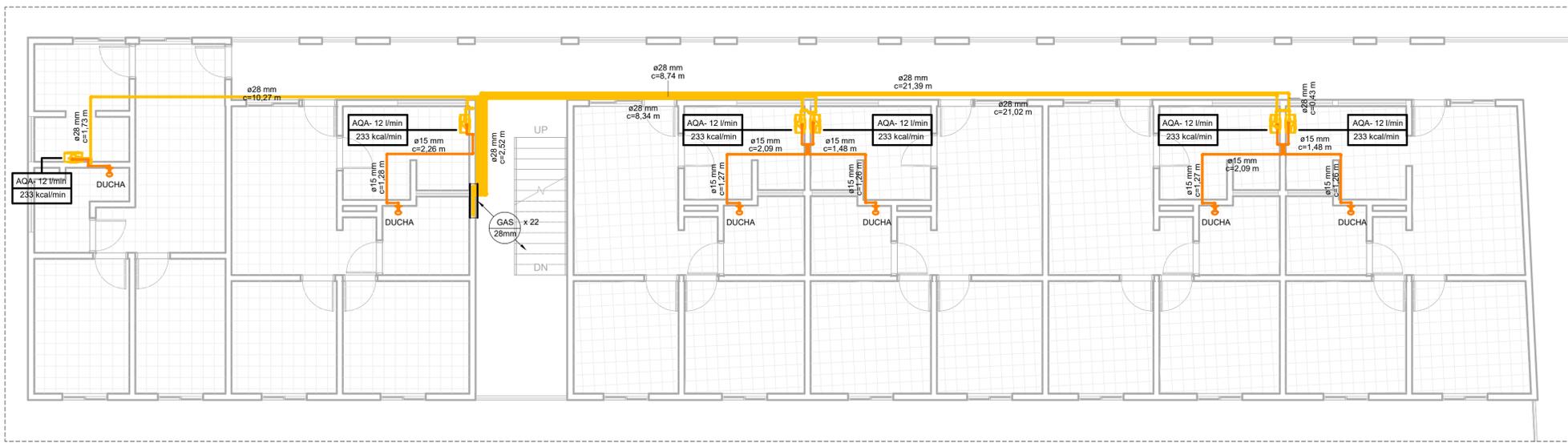
QUADRO DE NOTAS

- 01 - SERÃO UTILIZADOS TUBOS DE COBRE, SEM COSTURA, CLASSE "A" ATENDENDO AS ESPECIFICAÇÕES DA NBR 13206.
- 02 - AS CONEXÕES SERÃO EM FERRO MALEÁVEL ATENDENDO AS ESPECIFICAÇÕES DA NBR 6943.
- 03 - NA VEDAÇÃO POR ROSCAS DEVEM SER UTILIZADOS VEDANTES PASTOSOS OU FITA TIPO TEFLON SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO DE VEDANTES TIPO ZARCÃO OU À BASE DE TINTAS OU FIBRAS VEGETAIS.
- 04 - O TUBO FLEXÍVEL PARA INSTALAÇÕES DE GÁS DEVERÁ SER IDENTIFICADO E TRAZER DE FORMA INDELEVEL O NÚMERO DA NORMA NBR 14177 E MARCA DE CONFORMIDADE.
- 05 - NENHUM ELEMENTO ESTRUTURAL INTERFERIRÁ NA PASSAGEM DO RAMAL.
- 06 - NA TRAVESSIA DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS PREVER A UTILIZAÇÃO DE TUBOS-LUVA.
- 07 - AS TUBULAÇÕES DE GÁS DEVERÃO MANTER UMA DISTÂNCIA MÍNIMA DE 20cm DAS CANALIZAÇÕES DE OUTRA NATUREZA.
- 08 - AS RAMIFICAÇÕES DE GÁS SOMENTE SERÃO APROVADAS DEPOIS DE SUBMETIDAS, PELO INSTALADOR, À PROVA PRELIMINAR DE ESTANQUEIDADE MEDIANTE EMPREGO DE AR COMPRIMIDO OU GÁS INERTE COM PRESSÃO DE 1.000 mmca DURANTE 60 min.
- 09 - OS AMBIENTES DESTINADOS A APARELHOS À GÁS DEVERÃO SER VENTILADOS PERMANENTEMENTE.
- 10 - O INSTALADOR É RESPONSÁVEL PELO FIEL CUMPRIMENTO DE TODOS OS PRECITOS ESTABELECIDOS PELO REGULAMENTO DE INSTALAÇÕES PREDIAIS.

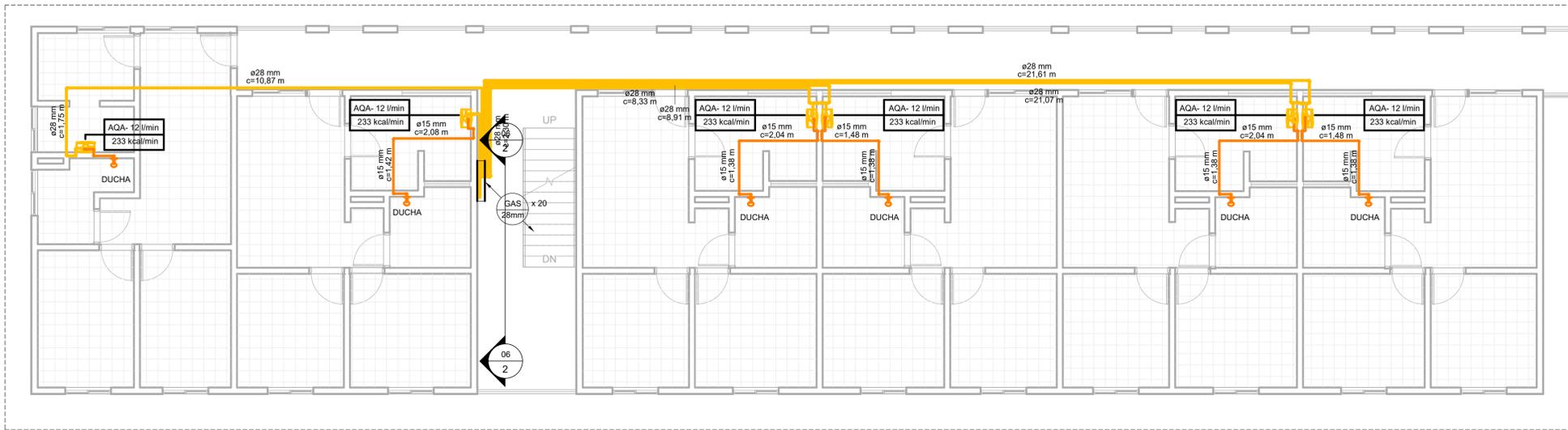
LEGENDA E SIMBOLOGIA

- TUBULAÇÃO DISTRIBUIÇÃO DE GÁS ENCANADO EM COBRE CLASSE "A" APARENTE, EMBUTIDA OU ENTERRADA
- TUBULAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA QUENTE EM CPVC
- MEDIDOR
- TUBULAÇÃO QUE SOBE
- TUBULAÇÃO QUE DESCE
- IDENTIFICAÇÃO DO APARELHO E CONSUMO CORRESPONDENTE EM kcal/min
- REPRESENTAÇÃO DE COLUNAS

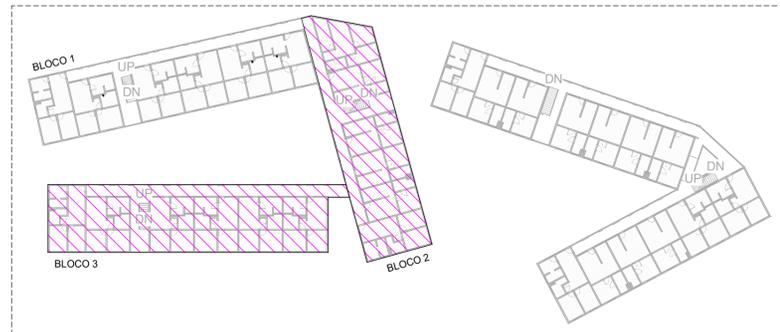
PROJETO: <b>PEA UFRJ - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO</b> <b>CONJUNTO HABITACIONAL QUILOMBO DA GAMBOA</b> <b>FUNDAÇÃO BENTO RUBIÃO</b> RUA DA GAMBOA, TERRENOS 347 A 365/367, BAIRRO DA GAMBOA RIO DE JANEIRO, RJ		
ESPECIALIDADE: ÁGUA QUENTE COM AQUECIMENTO A GÁS NATURAL	ETAPA: ESTUDO PRELIMINAR	ESCALA: As indicated
ASSUNTO: PLANTA PAV TÉRREO B - BLOCOS 4 E 5		
PROJETO: ARTHUR BASTOS ENGENHEIRO CIVIL	REGISTRO: 2015113134 - CREARJ	DESENHO: 03/06
DESENHO:	DATA ÚLTIMA EMISSÃO:	



1 PAV TIPO BLOCO 1  
ESCALA 1:75

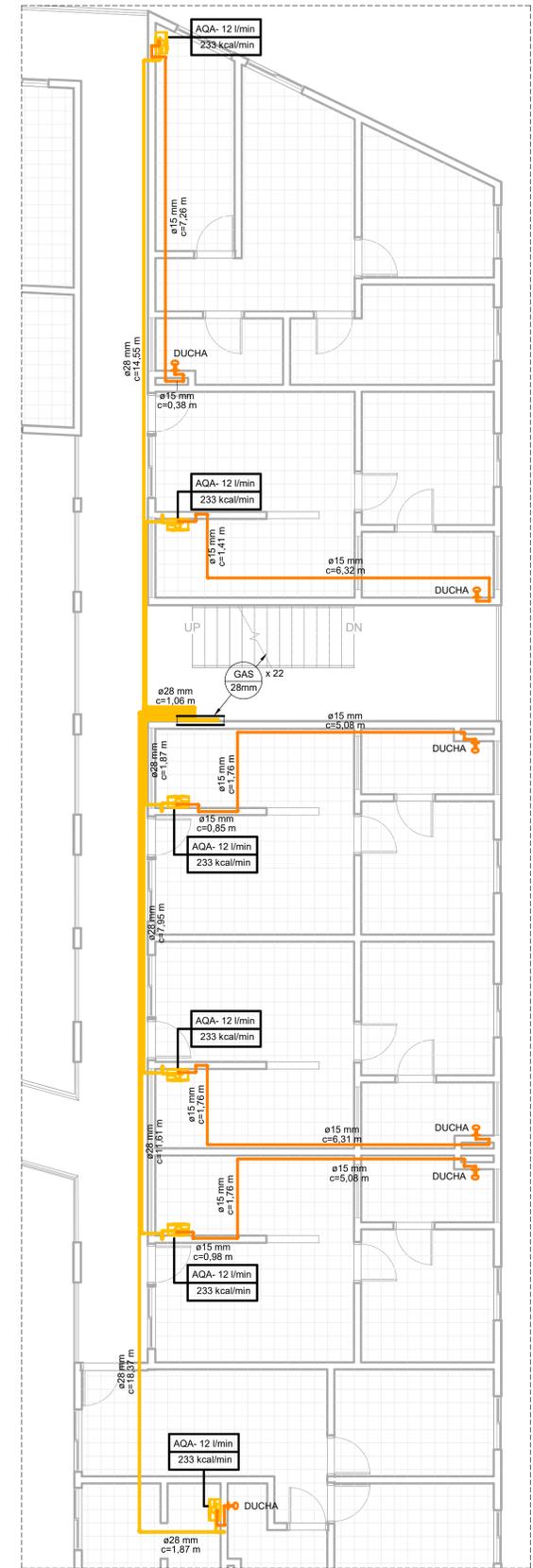


3 PAV TIPO BLOCO 3  
ESCALA 1:75



4 PLANTA CHAVE A TIPO  
ESCALA 1:500

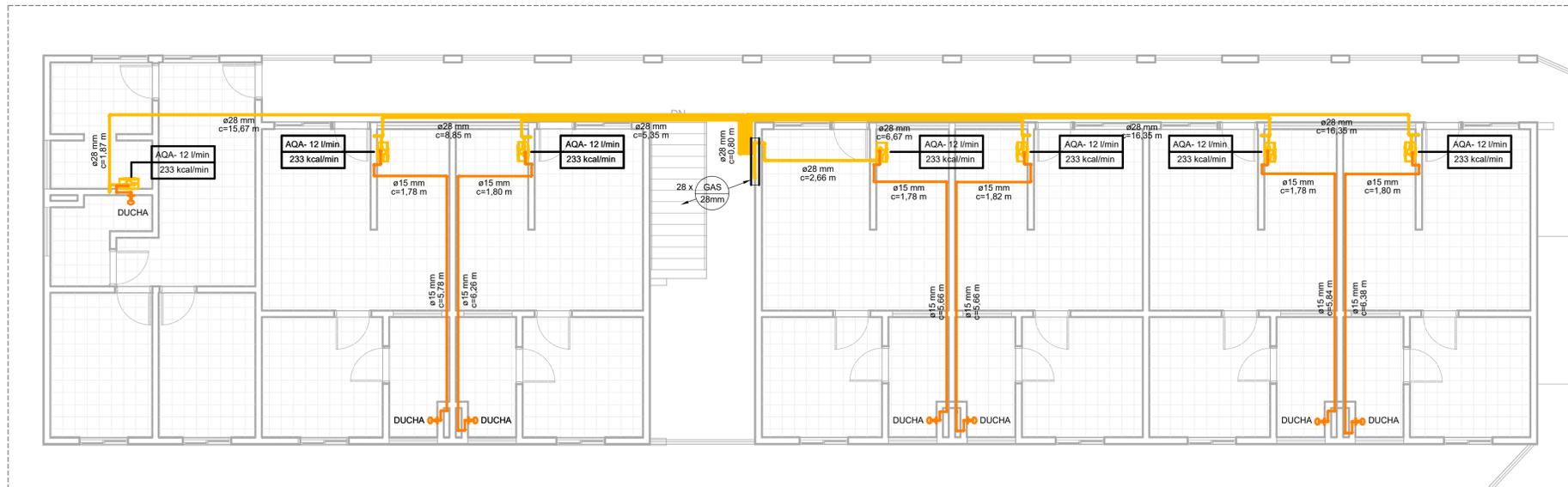
QUADRO DE NOTAS	
01 -	SERÃO UTILIZADOS TUBOS DE COBRE, SEM COSTURA, CLASSE "A" ATENDENDO AS ESPECIFICAÇÕES DA NBR 13206.
02 -	AS CONEXÕES SERÃO EM FERRO MALEÁVEL ATENDENDO AS ESPECIFICAÇÕES DA NBR 6943.
03 -	NA VEDAÇÃO POR ROSCAS DEVEM SER UTILIZADOS VEDANTES PASTOSOS OU FITA TIPO TEFLON SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO DE VEDANTES TIPO ZARCÃO OU À BASE DE TINTAS OU FIBRAS VEGETAIS.
04 -	O TUBO FLEXÍVEL PARA INSTALAÇÕES DE GÁS DEVERÁ SER IDENTIFICADO E TRAZER DE FORMA INDELÉVEL O NÚMERO DA NORMA NBR 14177 E MARCA DE CONFORMIDADE.
05 -	NENHUM ELEMENTO ESTRUTURAL INTERFERIRÁ NA PASSAGEM DO RAMAL.
06 -	NA TRAVESSIA DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS PREVER A UTILIZAÇÃO DE TUBOS-LUVA.
07 -	AS TUBULAÇÕES DE GÁS DEVERÃO MANTER UMA DISTÂNCIA MÍNIMA DE 20cm DAS CANALIZAÇÕES DE OUTRA NATUREZA.
08 -	AS RAMIFICAÇÕES DE GÁS SOMENTE SERÃO APROVADAS DEPOIS DE SUBMETIDAS, PELO INSTALADOR, À PROVA PRELIMINAR DE ESTANQUEIDADE MEDIANTE EMPREGO DE AR COMPRIMIDO OU GÁS INERTE COM PRESSÃO DE 1.000 mmca DURANTE 60 min.
09 -	OS AMBIENTES DESTINADOS A APARELHOS À GÁS DEVERÃO SER VENTILADOS PERMANENTEMENTE.
10 -	O INSTALADOR É RESPONSÁVEL PELO FIEL CUMPRIMENTO DE TODOS OS PRECEITOS ESTABELECIDOS PELO REGULAMENTO DE INSTALAÇÕES PREDIAIS.
LEGENDA E SIMBOLOGIA	
	- TUBULAÇÃO DISTRIBUIÇÃO DE GÁS ENCANADO EM COBRE CLASSE "A" APARENTE, EMBUTIDA OU ENTERRADA
	- TUBULAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA QUENTE EM CPVC
	- MEDIDOR
	- TUBULAÇÃO QUE SOBE
	- TUBULAÇÃO QUE DESCE
	- IDENTIFICAÇÃO DO APARELHO E CONSUMO CORRESPONDENTE EM kcal/min
	- REPRESENTAÇÃO DE COLUNAS



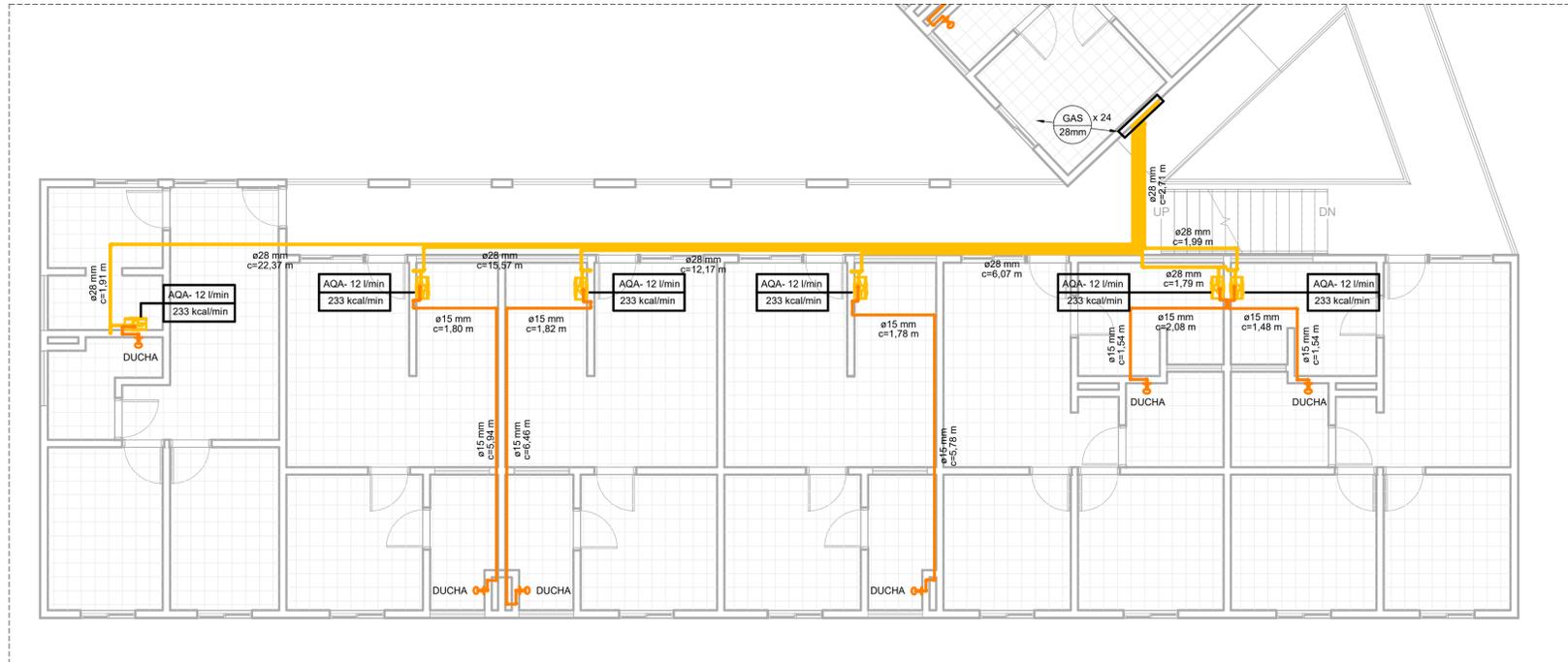
2 PAV TIPO BLOCO 2  
ESCALA 1:75

PROJETO:  
**PEA UFRJ - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**  
**CONJUNTO HABITACIONAL QUILOMBO DA GAMBOA**  
**FUNDAÇÃO BENTO RUBIÃO**  
RUA DA GAMBOA, TERRENOS 347 A 365/367, BAIRRO DA GAMBOA  
RIO DE JANEIRO, RJ

ESPECIALIDADE:	ETAPA:	ESCALA:
ÁGUA QUENTE COM AQUECIMENTO A GÁS NATURAL	ESTUDO PRELIMINAR	As indicated
ASSUNTO:	ARQUIVO:	ARQUIVO:
PLANTA PAV TIPO A - BLOCOS 1, 2 E 3		
PROJETO:	REGISTRO:	DESENHO:
ARTHUR BASTOS ENGENHEIRO CIVIL	2015113134 - CREARJ	
DESENHO:	DATA ÚLTIMA EMISSÃO:	



1 PAV TIPO BLOCO 4  
ESCALA 1:75



2 PAV TIPO BLOCO 5  
ESCALA 1:75



3 PLANTA CHAVE B TIPO  
ESCALA 1:500

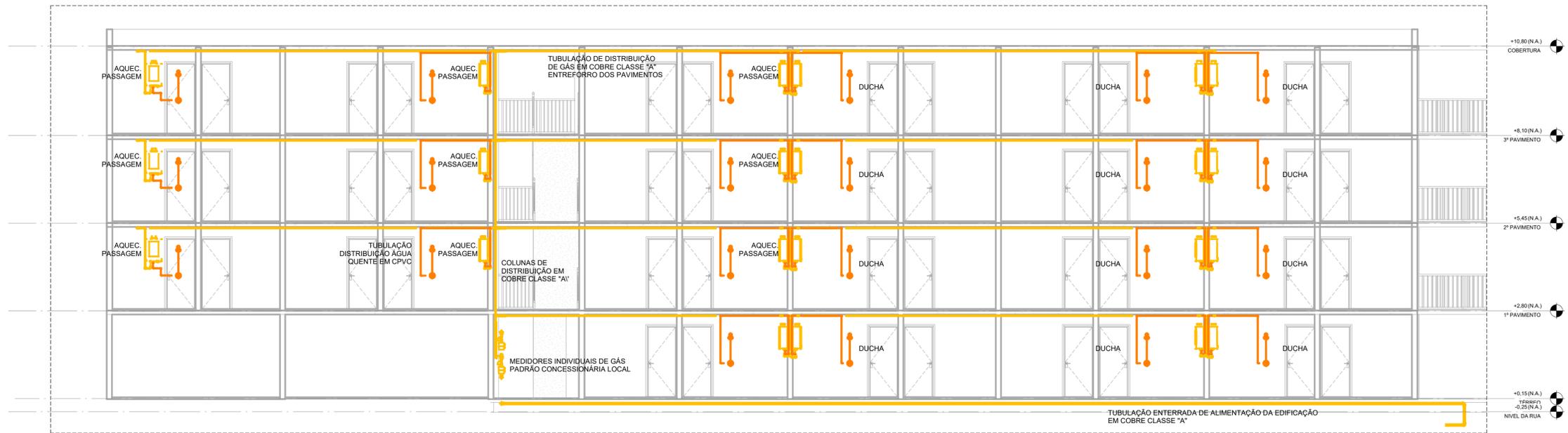
QUADRO DE NOTAS

- 01 - SERÃO UTILIZADOS TUBOS DE COBRE, SEM COSTURA, CLASSE "A" ATENDENDO AS ESPECIFICAÇÕES DA NBR 13206.
- 02 - AS CONEXÕES SERÃO EM FERRO MALEÁVEL ATENDENDO AS ESPECIFICAÇÕES DA NBR 6943.
- 03 - NA VEDAÇÃO POR ROSCAS DEVEREM SER UTILIZADOS VEDANTES PASTOSOS OU FITA TIPO TEFLON SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO DE VEDANTES TIPO ZARCÃO OU À BASE DE TINTAS OU FIBRAS VEGETAIS.
- 04 - O TUBO FLEXÍVEL PARA INSTALAÇÕES DE GÁS DEVERÁ SER IDENTIFICADO E TRAZER DE FORMA INDELEVEL O NÚMERO DA NORMA NBR 14177 E MARCA DE CONFORMIDADE.
- 05 - NENHUM ELEMENTO ESTRUTURAL INTERFERIRÁ NA PASSAGEM DO RAMAL.
- 06 - NA TRAVESSIA DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS PREVER A UTILIZAÇÃO DE TUBOS-LUVA.
- 07 - AS TUBULAÇÕES DE GÁS DEVERÃO MANTER UMA DISTÂNCIA MÍNIMA DE 20cm DAS CANALIZAÇÕES DE OUTRA NATUREZA.
- 08 - AS RAMIFICAÇÕES DE GÁS SOMENTE SERÃO APROVADAS DEPOIS DE SUBMETIDAS, PELO INSTALADOR, À PROVA PRELIMINAR DE ESTANQUEIDADE MEDIANTE EMPREGO DE AR COMPRIMIDO OU GÁS INERTE COM PRESSÃO DE 1.000 mmca DURANTE 60 min.
- 09 - OS AMBIENTES DESTINADOS A APARELHOS À GÁS DEVERÃO SER VENTILADOS PERMANENTEMENTE.
- 10 - O INSTALADOR É RESPONSÁVEL PELO FIEL CUMPRIMENTO DE TODOS OS PRECEITOS ESTABELECIDOS PELO REGULAMENTO DE INSTALAÇÕES PREDIAIS.

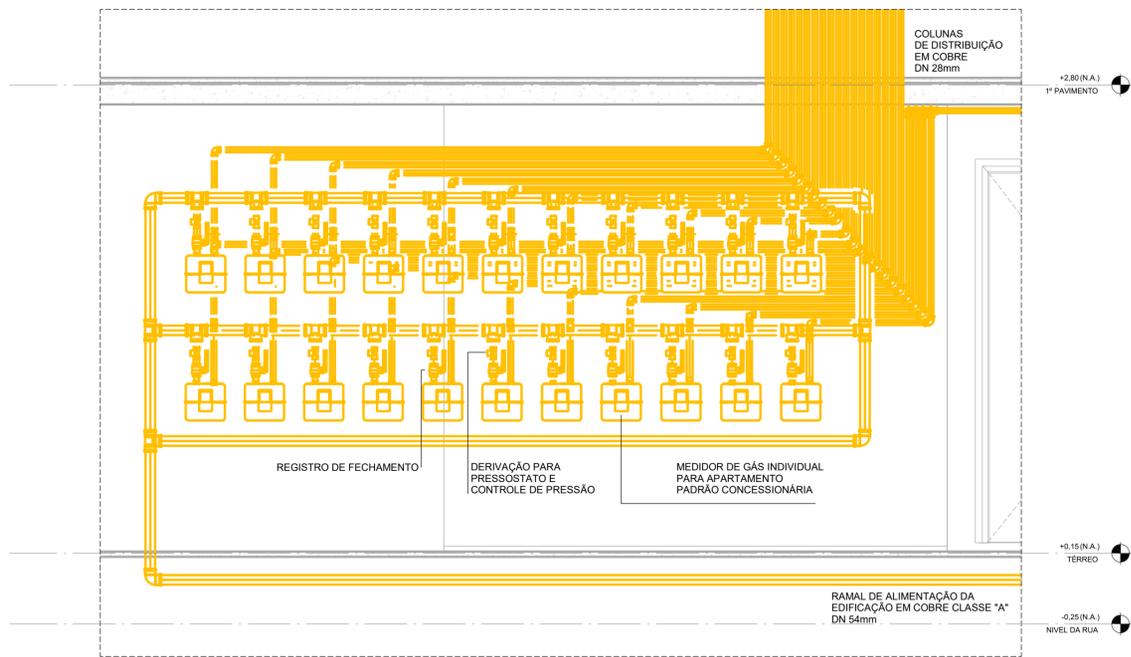
LEGENDA E SIMBOLOGIA

- TUBULAÇÃO DISTRIBUIÇÃO DE GÁS ENCANADO EM COBRE CLASSE "A" APARENTE, EMBUTIDA OU ENTERRADA
- TUBULAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA QUENTE EM CPVC
- MEDIDOR
- TUBULAÇÃO QUE SOBE
- TUBULAÇÃO QUE DESCE
- IDENTIFICAÇÃO DO APARELHO E CONSUMO CORRESPONDENTE EM kcal/min
- REPRESENTAÇÃO DE COLUNAS

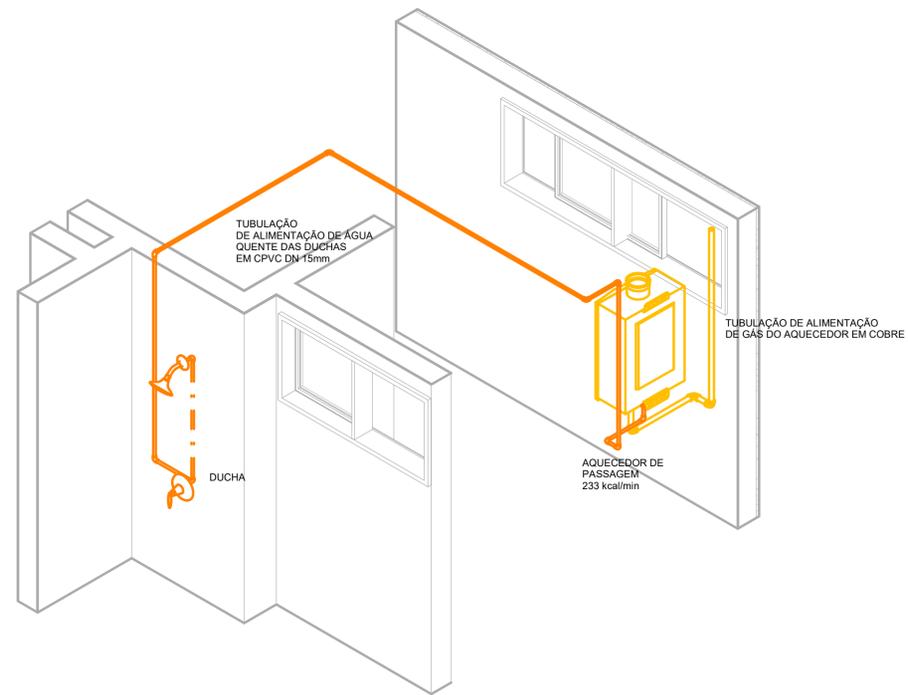
PROJETO: <b>PEA UFRJ - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO</b> <b>CONJUNTO HABITACIONAL QUILOMBO DA GAMBOA</b> <b>FUNDAÇÃO BENTO RUBIÃO</b> RUA DA GAMBOA, TERRENOS 347 A 365/367, BAIRRO DA GAMBOA RIO DE JANEIRO, RJ		
ESPECIALIDADE: ÁGUA QUENTE COM AQUECIMENTO A GÁS NATURAL	ETAPA: ESTUDO PRELIMINAR	ESCALA: As indicated
ASSUNTO: PLANTA PAV TIPO B - BLOCOS 4 E 5		
PROJETO: ARTHUR BASTOS ENGENHEIRO CIVIL	REGISTRO: 2015113134 - CREARJ	DESENHO: 05/06
DESENHO:	DATA ÚLTIMA EMISSÃO:	



1 CORTE ESQUEMÁTICO  
ESCALA 1:75



2 DETALHE MEDIÇÃO  
ESCALA 1:20



3 ISOMÉTRICO GERAL INSTALAÇÃO DUCHA  
ESCALA

QUADRO DE NOTAS

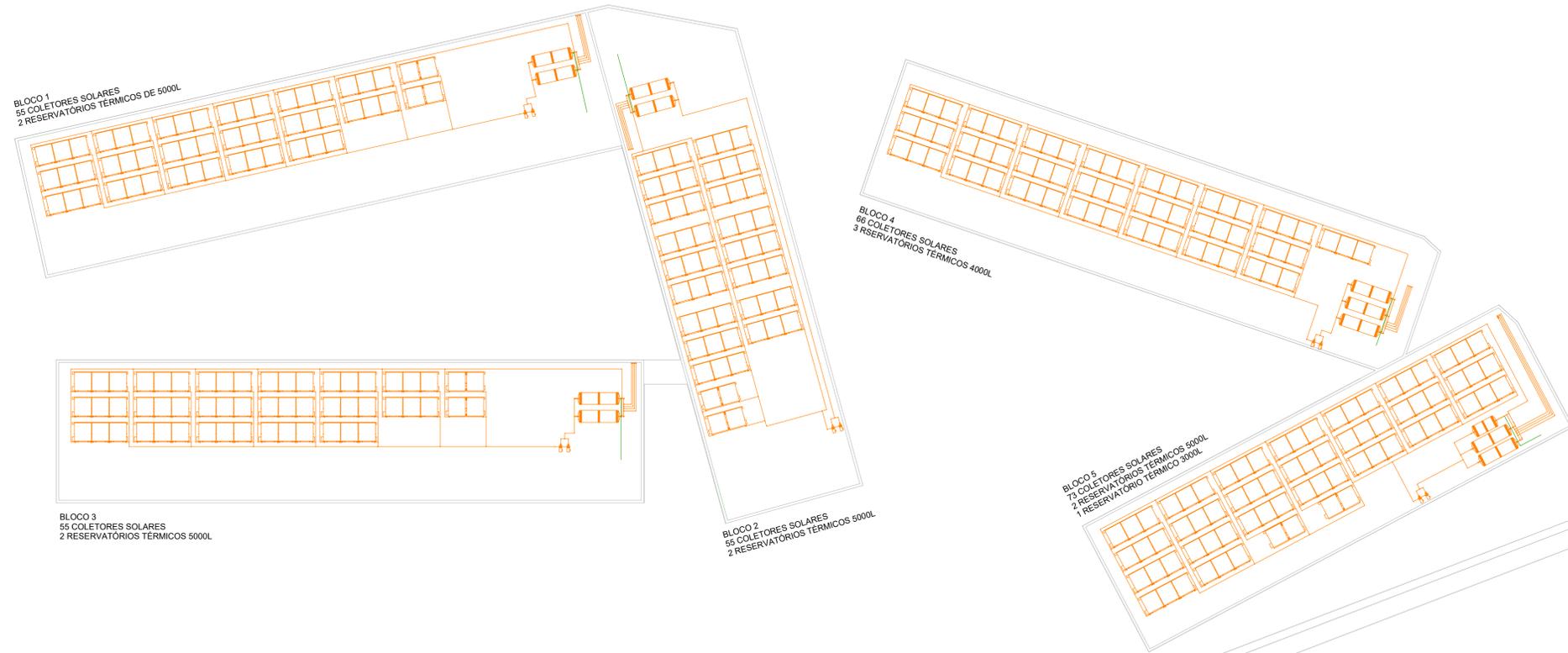
- 01 - SERÃO UTILIZADOS TUBOS DE COBRE, SEM COSTURA, CLASSE "A" ATENDENDO AS ESPECIFICAÇÕES DA NBR 13206.
- 02 - AS CONEXÕES SERÃO EM FERRO MALEÁVEL ATENDENDO AS ESPECIFICAÇÕES DA NBR 6943.
- 03 - NA VEDAÇÃO POR ROSCAS DEVEREM SER UTILIZADOS VEDANTES PASTOSOS OU FITA TIPO TEFLON SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO DE VEDANTES TIPO ZARCÃO OU À BASE DE TINTAS OU FIBRAS VEGETAIS.
- 04 - O TUBO FLEXÍVEL PARA INSTALAÇÕES DE GÁS DEVERÁ SER IDENTIFICADO E TRAZER DE FORMA INDELÉVEL O NÚMERO DA NORMA NBR 14177 E MARCA DE CONFORMIDADE.
- 05 - NENHUM ELEMENTO ESTRUTURAL INTERFERIRÁ NA PASSAGEM DO RAMAL.
- 06 - NA TRAVESSIA DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS PREVER A UTILIZAÇÃO DE TUBOS-LUVA.
- 07 - AS TUBULAÇÕES DE GÁS DEVERÃO MANTER UMA DISTÂNCIA MÍNIMA DE 20cm DAS CANALIZAÇÕES DE OUTRA NATUREZA.
- 08 - AS RAMIFICAÇÕES DE GÁS SOMENTE SERÃO APROVADAS DEPOIS DE SUBMETIDAS, PELO INSTALADOR, À PROVA PRELIMINAR DE ESTANQUEIDADE MEDIANTE EMPREGO DE AR COMPRIMIDO OU GÁS INERTE COM PRESSÃO DE 1.000 mmca DURANTE 60 min.
- 09 - OS AMBIENTES DESTINADOS A APARELHOS A GÁS DEVERÃO SER VENTILADOS PERMANENTEMENTE.
- 10 - O INSTALADOR É RESPONSÁVEL PELO FIEL CUMPRIMENTO DE TODOS OS PRECEITOS ESTABELECIDOS PELO REGULAMENTO DE INSTALAÇÕES PREDIAIS.

LEGENDA E SIMBOLOGIA

- TUBULAÇÃO DISTRIBUIÇÃO DE GÁS ENCANADO EM COBRE CLASSE "A" APARENTE, EMBUTIDA OU ENTERRADA
- TUBULAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA QUENTE EM CPVC
- MEDIDOR
- TUBULAÇÃO QUE SOBE
- TUBULAÇÃO QUE DESCE
- IDENTIFICAÇÃO DO APARELHO E CONSUMO CORRESPONDENTE EM kcal/min
- REPRESENTAÇÃO DE COLUNAS

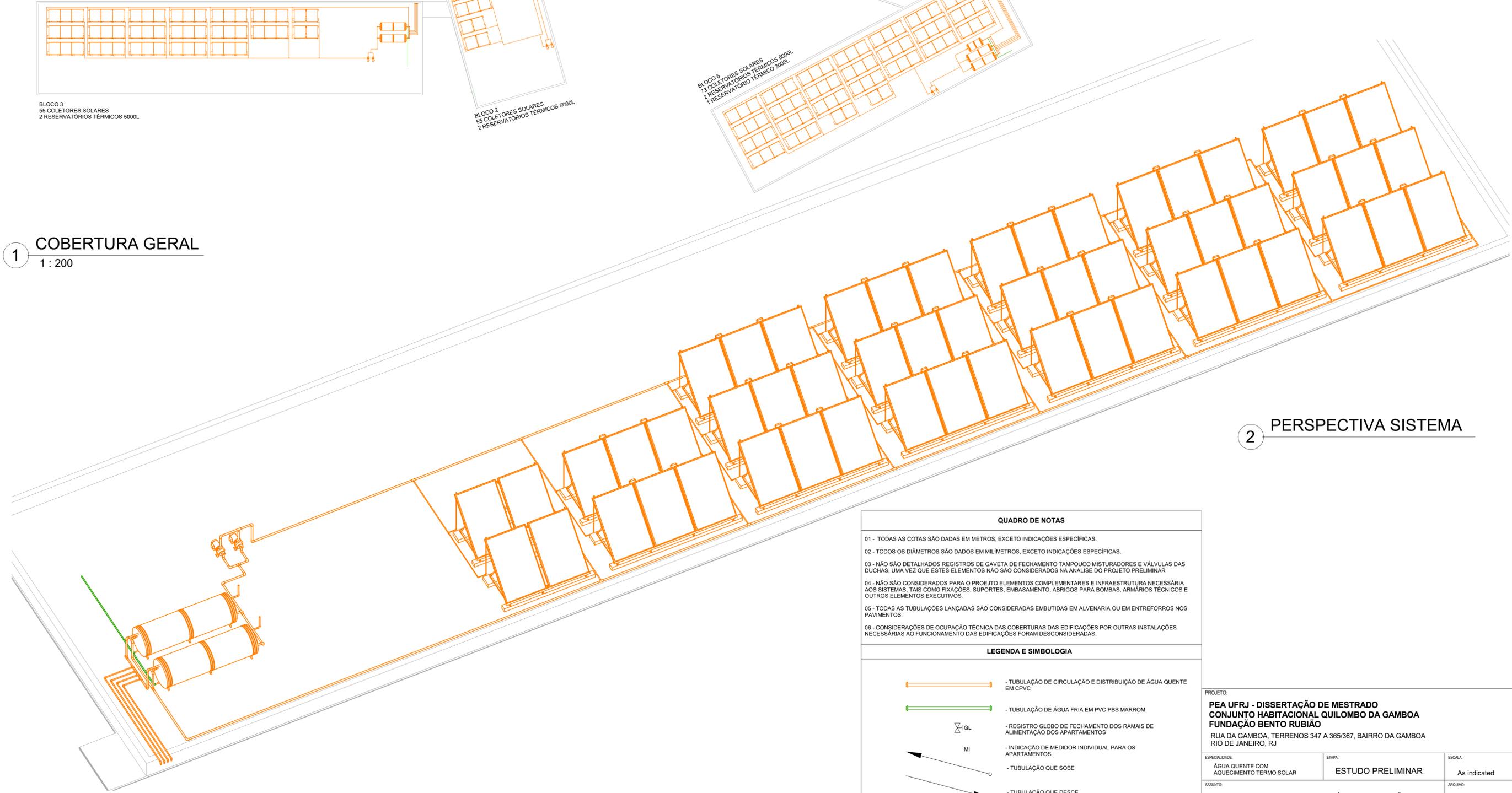
PROJETO:  
**PEA UFRJ - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**  
**CONJUNTO HABITACIONAL QUILOMBO DA GAMBOA**  
**FUNDAÇÃO BENTO RUBIÃO**  
RUA DA GAMBOA, TERRENOS 347 A 365/367, BAIRRO DA GAMBOA  
RIO DE JANEIRO, RJ

ESPECIALIDADE: ÁGUA QUENTE COM AQUECIMENTO A GÁS NATURAL	ETAPA: ESTUDO PRELIMINAR	ESCALA: As indicated
ASSUNTO: CORTE GERAL ESQUEMÁTICO E DETALHES		ARQUIVO:
PROJETO: ARTHUR BASTOS ENGENHEIRO CIVIL	REGISTRO: 2015113134 - CREARJ	DESENHO: 06/06
DESENHO:	DATA ÚLTIMA EMISSÃO:	



**1** COBERTURA GERAL  
1 : 200

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE
<b>1 TUBULAÇÕES</b>			
1.1	Tubo CPVC branco soldável DN 15mm para água quente	m	3246
1.2	Tubo CPVC branco soldável DN 22mm para água quente	m	663
1.3	Tubo CPVC branco soldável DN 28mm para água quente	m	119
1.4	Tubo CPVC branco soldável DN 35mm para água quente	m	100
1.5	Tubo CPVC branco soldável DN 42mm para água quente	m	246
1.6	Tubo PVC Ponta Bolsa Soldável Marrom	m	11
<b>2 EQUIPAMENTOS E ACESSÓRIOS</b>			
2.1	Coletor solar em alumínio área coletora 2m <sup>2</sup>	un	304
2.2	Reservatório Térmico 3000 l com corpo em aço inoxidável com isolamento térmico em lã de vidro e redundância de aquecimento elétrica potência nominal 7500W	un	1
2.3	Reservatório Térmico 4000 l com corpo em aço inoxidável com isolamento térmico em lã de vidro e redundância de aquecimento elétrica potência nominal 6 x 7500W	un	3
2.4	Reservatório Térmico 5000 l com corpo em aço inoxidável com isolamento térmico em lã de vidro e redundância de aquecimento elétrica potência nominal 6 x 7500W	un	8
2.5	Bomba centrífuga para recirculação monoestágio potência estimada 2 CV corpo em aço inoxidável e rotor em bronze	un	10
2.6	Hidrômetro 1/2" corpo em liga de cobre	un	116
2.7	Registro globo 1/2" em bronze	un	116
2.8	Ducha em ABS com acabamento cromado	un	116
2.9	Base misturador monocomando 1/2" em liga de cobre	un	116



**2** PERSPECTIVA SISTEMA

**QUADRO DE NOTAS**

01 - TODAS AS COTAS SÃO DADAS EM METROS, EXCETO INDICAÇÕES ESPECÍFICAS.  
 02 - TODOS OS DIÂMETROS SÃO DADOS EM MILÍMETROS, EXCETO INDICAÇÕES ESPECÍFICAS.  
 03 - NÃO SÃO DETALHADOS REGISTROS DE GAVETA DE FECHAMENTO TAMPOUCO MISTURADORES E VÁLVULAS DAS DUCHAS, UMA VEZ QUE ESTES ELEMENTOS NÃO SÃO CONSIDERADOS NA ANÁLISE DO PROJETO PRELIMINAR  
 04 - NÃO SÃO CONSIDERADOS PARA O PROJETO ELEMENTOS COMPLEMENTARES E INFRAESTRUTURA NECESSÁRIA AOS SISTEMAS, TAIS COMO FIXAÇÕES, SUPORTES, EMBASAMENTO, ABRIGOS PARA BOMBAS, ARMÁRIOS TÉCNICOS E OUTROS ELEMENTOS EXECUTIVOS.  
 05 - TODAS AS TUBULAÇÕES LANÇADAS SÃO CONSIDERADAS EMBUTIDAS EM ALVENARIA OU EM ENTREFORROS NOS PAVIMENTOS.  
 06 - CONSIDERAÇÕES DE OCUPAÇÃO TÉCNICA DAS COBERTURAS DAS EDIFICAÇÕES POR OUTRAS INSTALAÇÕES NECESSÁRIAS AO FUNCIONAMENTO DAS EDIFICAÇÕES FORAM DESCONSIDERADAS.

**LEGENDA E SIMBOLOGIA**

- TUBULAÇÃO DE CIRCULAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA QUENTE EM CPVC
- TUBULAÇÃO DE ÁGUA FRIA EM PVC PBS MARRON
- REGISTRO GLOBO DE FECHAMENTO DOS RAMAIS DE ALIMENTAÇÃO DOS APARTAMENTOS
- INDICAÇÃO DE MEDIDOR INDIVIDUAL PARA OS APARTAMENTOS
- TUBULAÇÃO QUE SOBE
- TUBULAÇÃO QUE DESCE
- REPRESENTAÇÃO DE COLUNAS DE ÁGUA QUENTE

PROJETO:  
**PEA UFRJ - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO  
CONJUNTO HABITACIONAL QUILOMBO DA GAMBOA  
FUNDAÇÃO BENTO RUBIÃO**  
RUA DA GAMBOA, TERRENOS 347 A 365/367, BAIRRO DA GAMBOA  
RIO DE JANEIRO, RJ

ESPECIALIDADE: ÁGUA QUENTE COM AQUECIMENTO TERMO SOLAR	ETAPA: ESTUDO PRELIMINAR	ESCALA: As indicated
ASSUNTO: PLANTA GERAL COBERTURA E ISOMÉTRICO INSTALAÇÃO	ARQUIVO:	
PROJETO: ARTHUR BASTOS ENGENHEIRO CIVIL	REGISTRO: 2015113134 - CREARJ	DESENHO: 01/10
DESENHO:	DATA ÚLTIMA EMISSÃO:	

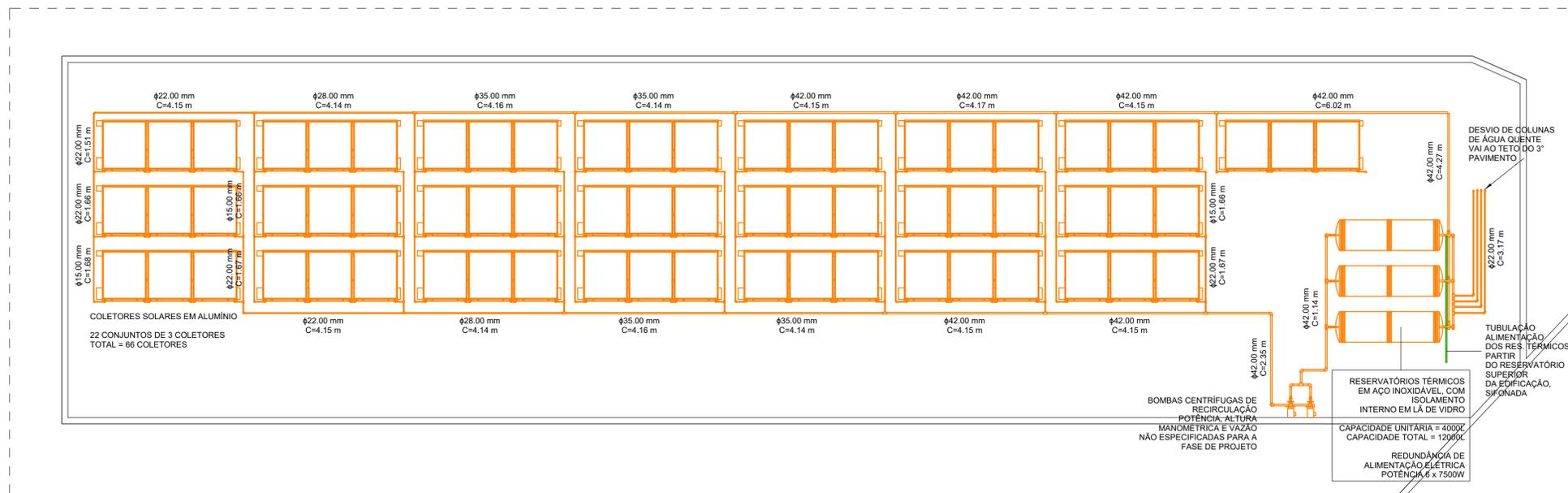


**QUADRO DE NOTAS**

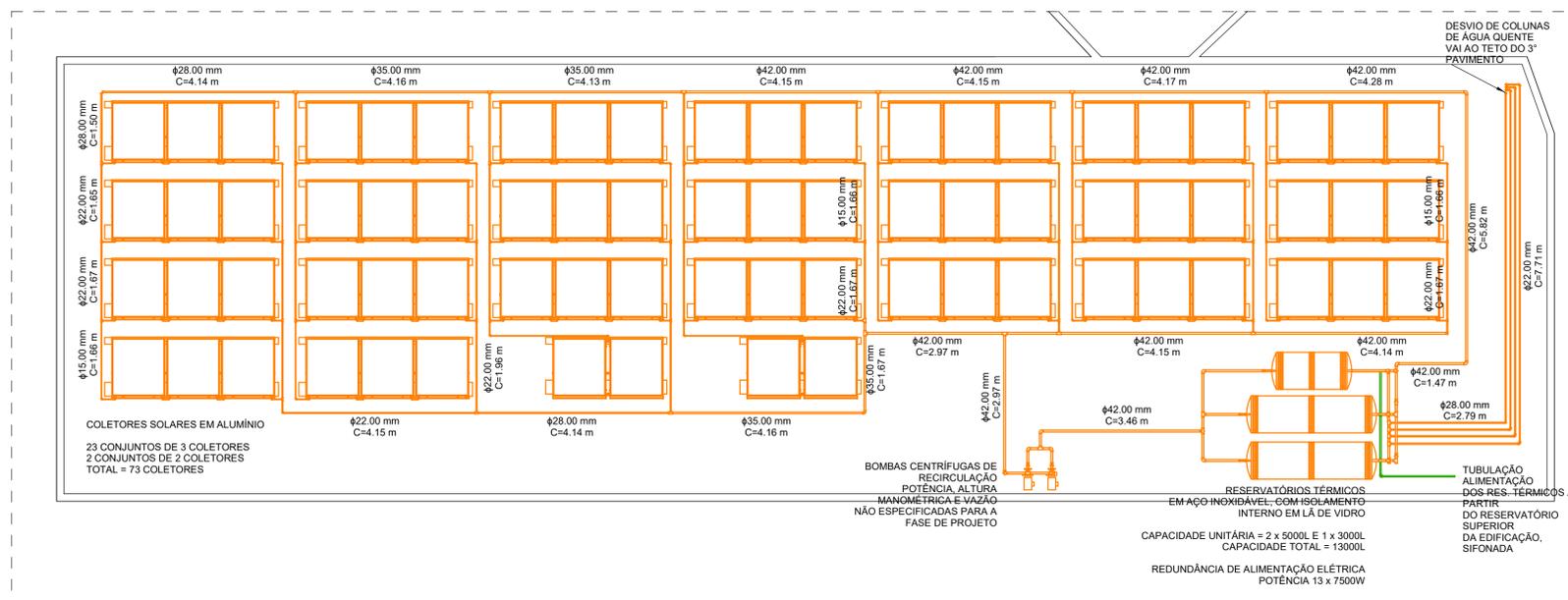
- 01 - TODAS AS COTAS SÃO DADAS EM METROS, EXCETO INDICAÇÕES ESPECÍFICAS.
- 02 - TODOS OS DIÂMETROS SÃO DADOS EM MILÍMETROS, EXCETO INDICAÇÕES ESPECÍFICAS.
- 03 - NÃO SÃO DETALHADOS REGISTROS DE GAVETA DE FECHAMENTO TAMPONCO MISTURADORES E VÁLVULAS DAS DUCHAS, UMA VEZ QUE ESTES ELEMENTOS NÃO SÃO CONSIDERADOS NA ANÁLISE DO PROJETO PRELIMINAR
- 04 - NÃO SÃO CONSIDERADOS PARA O PROJETO ELEMENTOS COMPLEMENTARES E INFRAESTRUTURA NECESSÁRIA AOS SISTEMAS, TAIS COMO FIXAÇÕES, SUPORTES, EMBASAMENTO, ABRIGOS PARA BOMBAS, ARMÁRIOS TÉCNICOS E OUTROS ELEMENTOS EXECUTIVOS.
- 05 - TODAS AS TUBULAÇÕES LANÇADAS SÃO CONSIDERADAS EMBUTIDAS EM ALVENARIA OU EM ENTREFORROS NOS PAVIMENTOS.
- 06 - CONSIDERAÇÕES DE OCUPAÇÃO TÉCNICA DAS COBERTURAS DAS EDIFICAÇÕES POR OUTRAS INSTALAÇÕES NECESSÁRIAS AO FUNCIONAMENTO DAS EDIFICAÇÕES FORAM DESCONSIDERADAS.

**LEGENDA E SIMBOLOGIA**

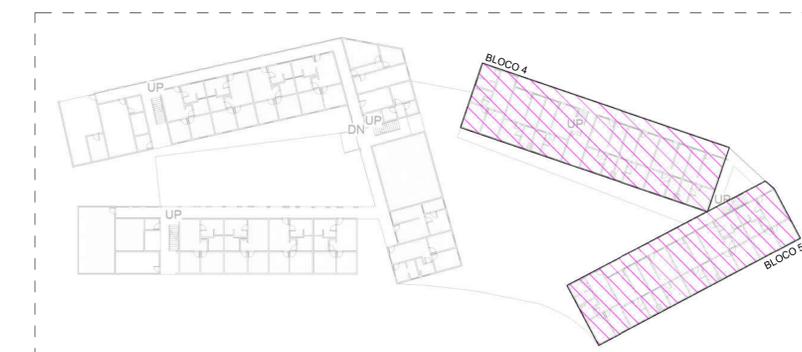
-  - TUBULAÇÃO DE CIRCULAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA QUENTE EM CPVC
-  - TUBULAÇÃO DE ÁGUA FRIA EM PVC PBS MARROM
-  - REGISTRO GLOBO DE FECHAMENTO DOS RAMAIS DE ALIMENTAÇÃO DOS APARTAMENTOS
-  MI - INDICAÇÃO DE MEDIDOR INDIVIDUAL PARA OS APARTAMENTOS
-  - TUBULAÇÃO QUE SOBE
-  - TUBULAÇÃO QUE DESCE
-  - REPRESENTAÇÃO DE COLUNAS DE ÁGUA QUENTE



**1** COBERTURA BLOCO 4  
1 : 75

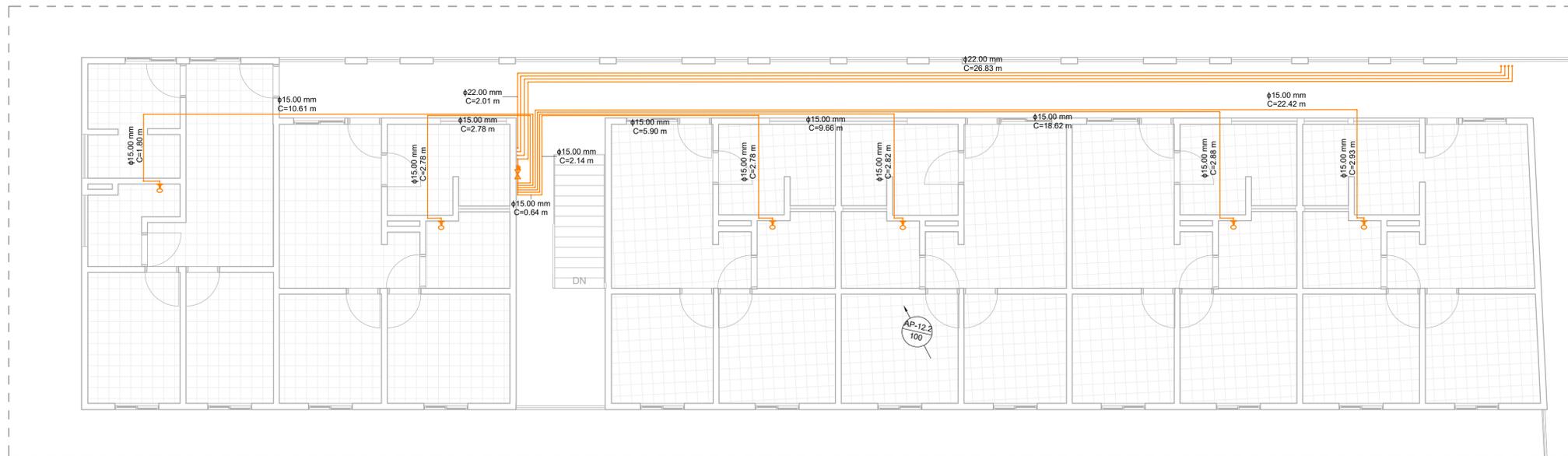


**2** COBERTURA BLOCO 5  
1 : 75

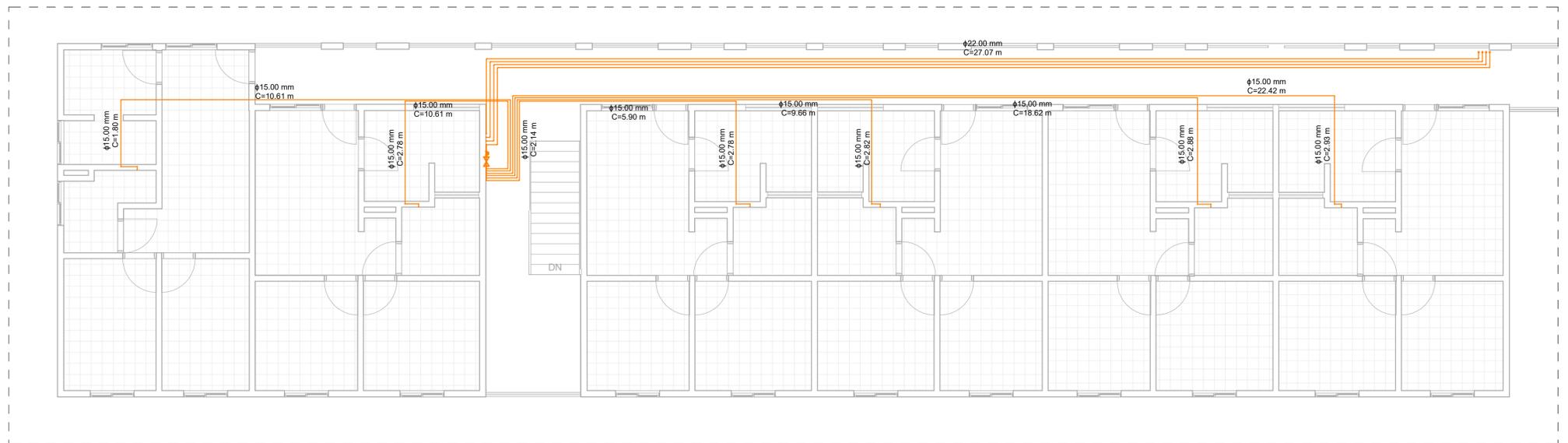


**3** PLANTA CHAVE B  
1 : 500

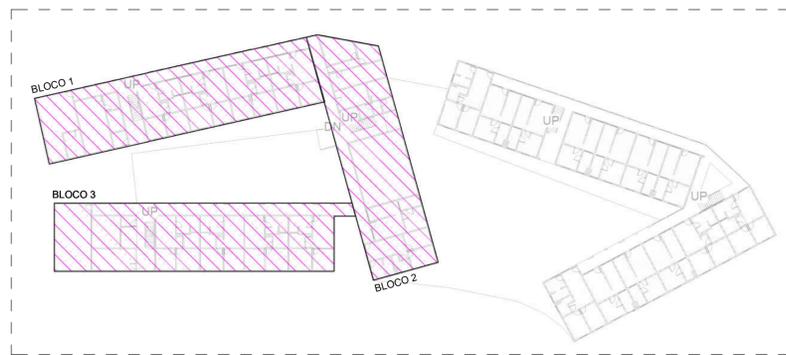
PROJETO: <b>PEA UFRJ - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO CONJUNTO HABITACIONAL QUILOMBO DA GAMBOA FUNDAÇÃO BENTO RUBIÃO</b> RUA DA GAMBOA, TERRENOS 347 A 365/367, BAIRRO DA GAMBOA RIO DE JANEIRO, RJ		
ESPECIALIDADE:	ETAPA: <b>ESTUDO PRELIMINAR</b>	ESCALA: As indicated
ASSUNTO: <b>PLANTA COBERTURA B - BLOCOS 4 E 5</b>	REGISTRO: 2015113134 - CREARJ	ARQUIVO:
PROJETO: ARTHUR BASTOS ENGENHEIRO CIVIL	DESENHO: 03/10	DATA ÚLTIMA EMISSÃO:



3 3º PAVIMENTO BLOCO 1  
1 : 75

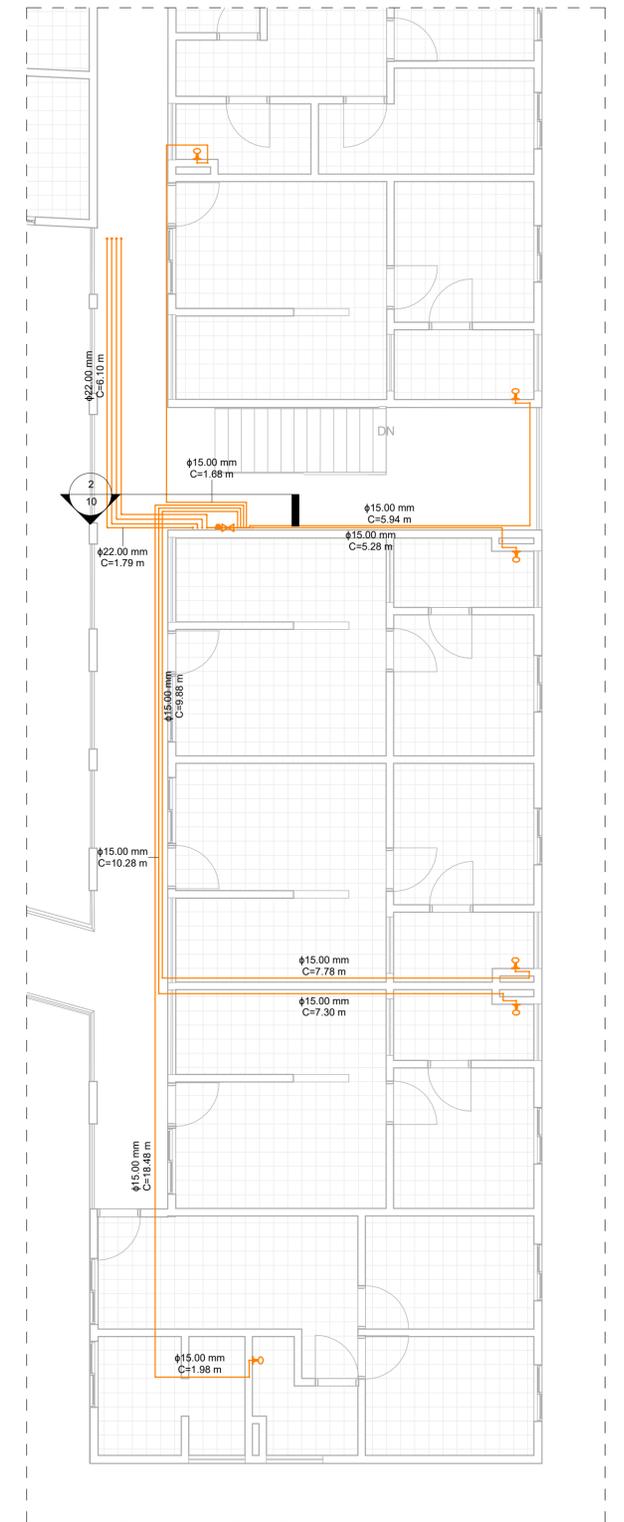


2 3º PAVIMENTO BLOCO 3  
1 : 75



4 PLANTA CHAVE A 3º PAV  
1 : 500

QUADRO DE NOTAS	
01 -	TODAS AS COTAS SÃO DADAS EM METROS, EXCETO INDICAÇÕES ESPECÍFICAS.
02 -	TODOS OS DIÂMETROS SÃO DADOS EM MILÍMETROS, EXCETO INDICAÇÕES ESPECÍFICAS.
03 -	NÃO SÃO DETALHADOS REGISTROS DE GAVETA DE FECHAMENTO TAMPOUCO MISTURADORES E VÁLVULAS DAS DUCHAS, UMA VEZ QUE ESTES ELEMENTOS NÃO SÃO CONSIDERADOS NA ANÁLISE DO PROJETO PRELIMINAR
04 -	NÃO SÃO CONSIDERADOS PARA O PROJETO ELEMENTOS COMPLEMENTARES E INFRAESTRUTURA NECESSÁRIA AOS SISTEMAS, TAIS COMO FIXAÇÕES, SUPORTES, EMBASAMENTO, ABRIGOS PARA BOMBAS, ARMÁRIOS TÉCNICOS E OUTROS ELEMENTOS EXECUTIVOS.
05 -	TODAS AS TUBULAÇÕES LANÇADAS SÃO CONSIDERADAS EMBUTIDAS EM ALVENARIA OU EM ENTREFORROS NOS PAVIMENTOS.
06 -	CONSIDERAÇÕES DE OCUPAÇÃO TÉCNICA DAS COBERTURAS DAS EDIFICAÇÕES POR OUTRAS INSTALAÇÕES NECESSÁRIAS AO FUNCIONAMENTO DAS EDIFICAÇÕES FORAM DESCONSIDERADAS.
LEGENDA E SIMBOLOGIA	
	- TUBULAÇÃO DE CIRCULAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA QUENTE EM CPVC
	- TUBULAÇÃO DE ÁGUA FRIA EM PVC PBS MARROM
	- REGISTRO GLOBO DE FECHAMENTO DOS RAMAIS DE ALIMENTAÇÃO DOS APARTAMENTOS
	- INDICAÇÃO DE MEDIDOR INDIVIDUAL PARA OS APARTAMENTOS
	- TUBULAÇÃO QUE SOBE
	- TUBULAÇÃO QUE DESCE
	- REPRESENTAÇÃO DE COLUNAS DE ÁGUA QUENTE



1 3º PAVIMENTO BLOCO 2  
1 : 75

PROJETO:  
**PEA UFRJ - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**  
**CONJUNTO HABITACIONAL QUILOMBO DA GAMBOA**  
**FUNDAÇÃO BENTO RUBIÃO**  
RUA DA GAMBOA, TERRENOS 347 A 365/367, BAIRRO DA GAMBOA  
RIO DE JANEIRO, RJ

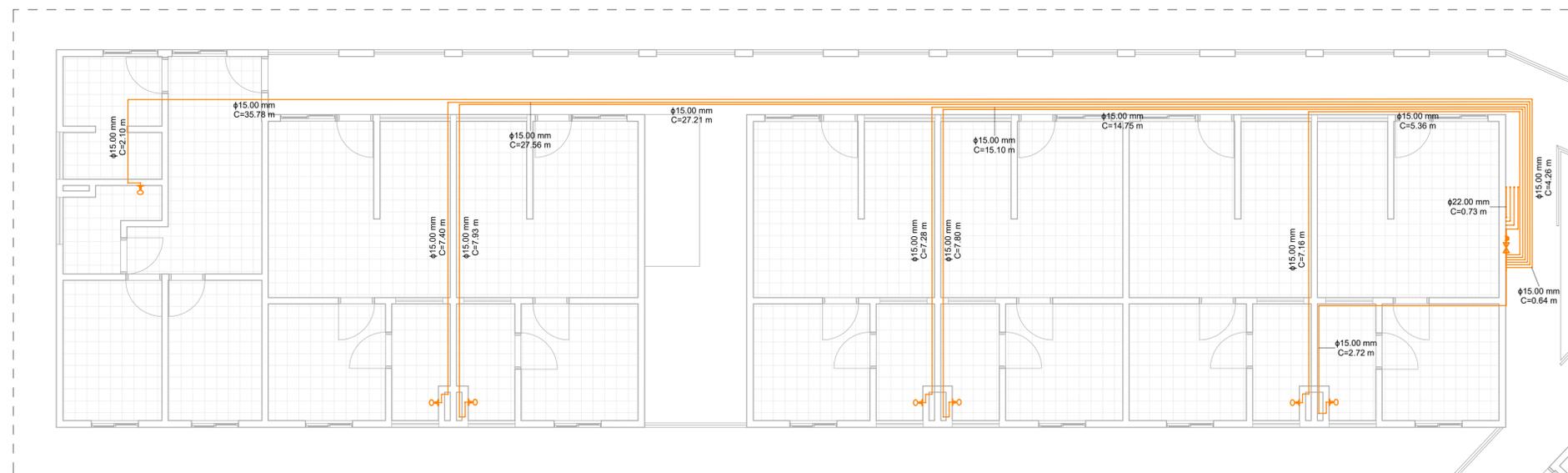
ESPECIALIDADE:	ETAPA: ESTUDO PRELIMINAR	ESCALA: As indicated
ASSUNTO: PLANTA 3º PAV A - BLOCOS 1, 2 E 3	ARQUIVO:	
PROJETO: ARTHUR BASTOS ENGENHEIRO CIVIL	REGISTRO: 2015113134 - CREARJ	DESENHO: 04/10
DESENHO:	DATA ÚLTIMA EMISSÃO:	

**QUADRO DE NOTAS**

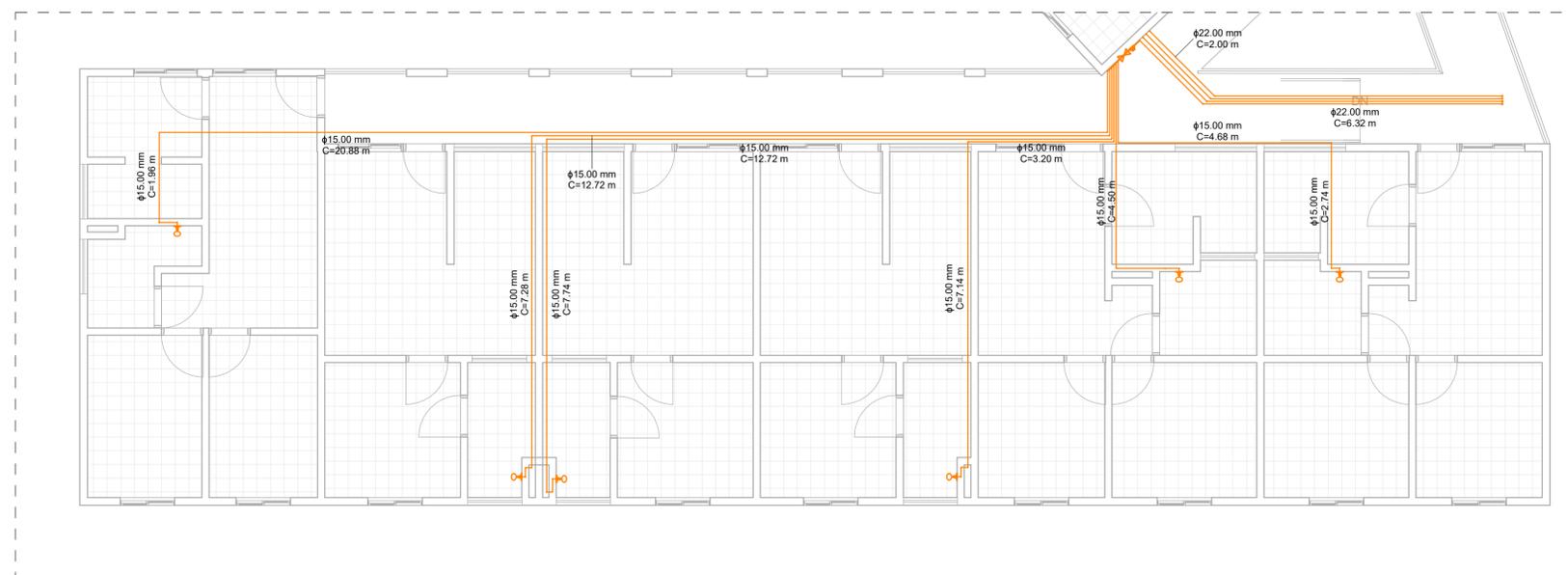
- 01 - TODAS AS COTAS SÃO DADAS EM METROS, EXCETO INDICAÇÕES ESPECÍFICAS.
- 02 - TODOS OS DIÂMETROS SÃO DADOS EM MILÍMETROS, EXCETO INDICAÇÕES ESPECÍFICAS.
- 03 - NÃO SÃO DETALHADOS REGISTROS DE GAVETA DE FECHAMENTO TAMPOUCO MISTURADORES E VÁLVULAS DAS DUCHAS, UMA VEZ QUE ESTES ELEMENTOS NÃO SÃO CONSIDERADOS NA ANÁLISE DO PROJETO PRELIMINAR
- 04 - NÃO SÃO CONSIDERADOS PARA O PROJETO ELEMENTOS COMPLEMENTARES E INFRAESTRUTURA NECESSÁRIA AOS SISTEMAS, TAIS COMO FIXAÇÕES, SUPORTES, EMBASAMENTO, ABRIGOS PARA BOMBAS, ARMÁRIOS TÉCNICOS E OUTROS ELEMENTOS EXECUTIVOS.
- 05 - TODAS AS TUBULAÇÕES LANÇADAS SÃO CONSIDERADAS EMBUTIDAS EM ALVENARIA OU EM ENTREFORROS NOS PAVIMENTOS.
- 06 - CONSIDERAÇÕES DE OCUPAÇÃO TÉCNICA DAS COBERTURAS DAS EDIFICAÇÕES POR OUTRAS INSTALAÇÕES NECESSÁRIAS AO FUNCIONAMENTO DAS EDIFICAÇÕES FORAM DESCONSIDERADAS.

**LEGENDA E SIMBOLOGIA**

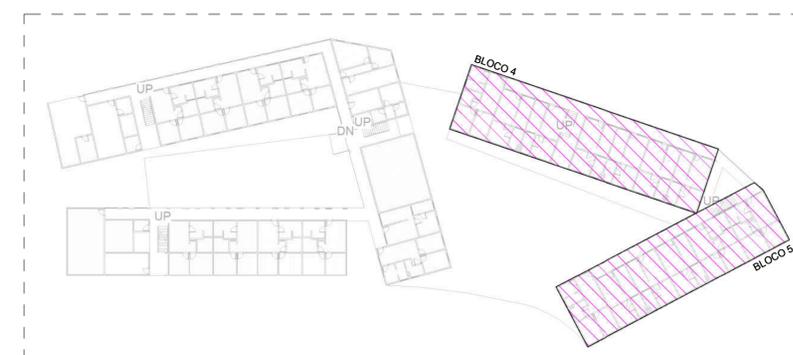
-  - TUBULAÇÃO DE CIRCULAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA QUENTE EM CPVC
-  - TUBULAÇÃO DE ÁGUA FRIA EM PVC PBS MARROM
-  GL - REGISTRO GLOBO DE FECHAMENTO DOS RAMAIS DE ALIMENTAÇÃO DOS APARTAMENTOS
-  MI - INDICAÇÃO DE MEDIDOR INDIVIDUAL PARA OS APARTAMENTOS
-  - TUBULAÇÃO QUE SOBE
-  - TUBULAÇÃO QUE DESCE
-  - REPRESENTAÇÃO DE COLUNAS DE ÁGUA QUENTE



**1** 3º PAVIMENTO BLOCO 4  
1 : 75



**2** 3º PAVIMENTO BLOCO 5  
1 : 75



**3** PLANTA CHAVE B 3 PAV  
1 : 500

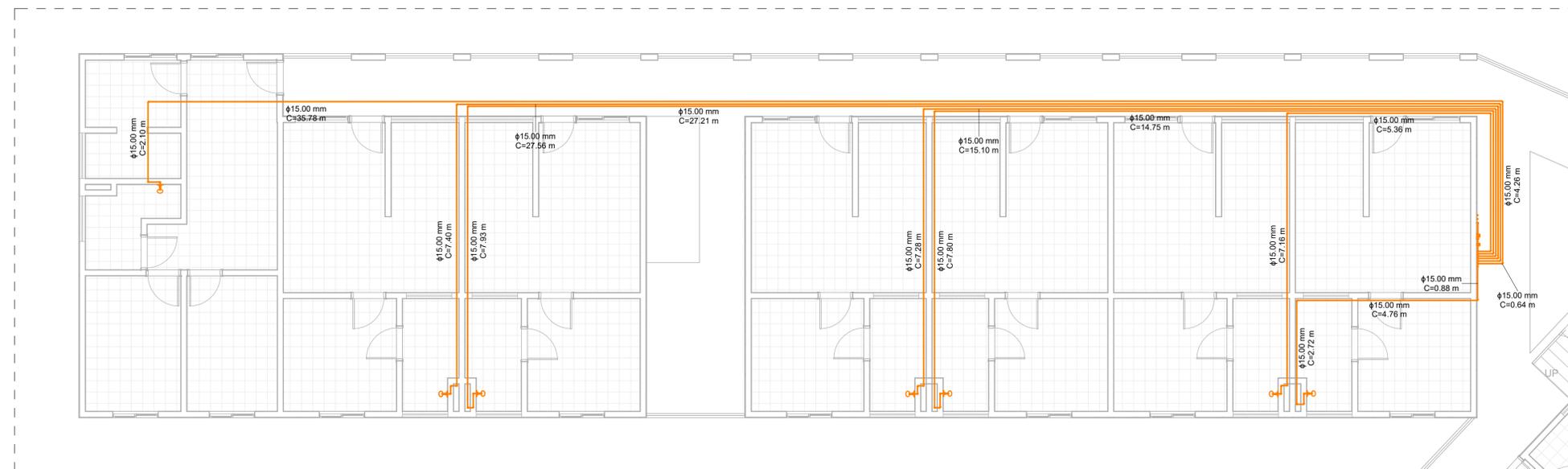
PROJETO: <b>PEA UFRJ - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO</b> <b>CONJUNTO HABITACIONAL QUILOMBO DA GAMBOA</b> <b>FUNDAÇÃO BENTO RUBIÃO</b> RUA DA GAMBOA, TERRENOS 347 A 365/367, BAIRRO DA GAMBOA RIO DE JANEIRO, RJ		
ESPECIALIDADE:	ETAPA: ESTUDO PRELIMINAR	ESCALA: As indicated
ASSUNTO: PLANTA 3º PAV B - BLOCOS 4 E 5	PROJETO: ARTHUR BASTOS ENGENHEIRO CIVIL	ARQUIVO: DESENHO: 05/10
DESENHO:	REGISTRO: 2015113134 - CREARJ	DATA ÚLTIMA EMISSÃO:

**QUADRO DE NOTAS**

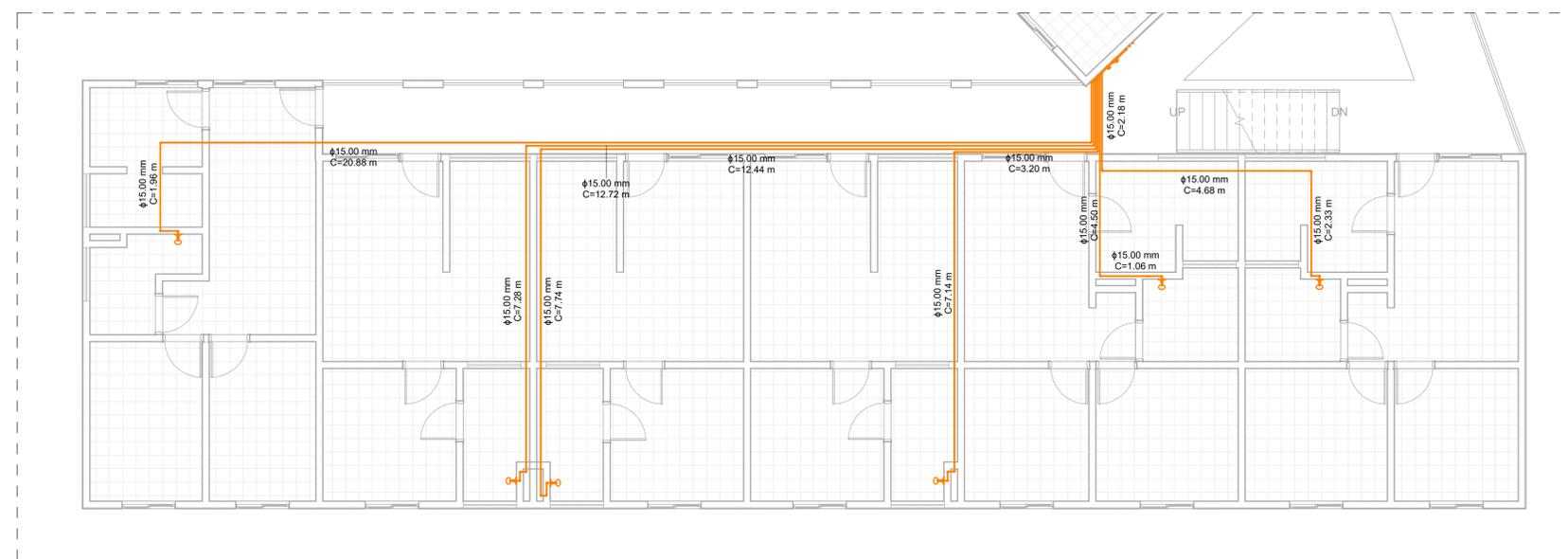
- 01 - TODAS AS COTAS SÃO DADAS EM METROS, EXCETO INDICAÇÕES ESPECÍFICAS.
- 02 - TODOS OS DIÂMETROS SÃO DADOS EM MILÍMETROS, EXCETO INDICAÇÕES ESPECÍFICAS.
- 03 - NÃO SÃO DETALHADOS REGISTROS DE GAVETA DE FECHAMENTO TAMPOUCO MISTURADORES E VÁLVULAS DAS DUCHAS, UMA VEZ QUE ESTES ELEMENTOS NÃO SÃO CONSIDERADOS NA ANÁLISE DO PROJETO PRELIMINAR
- 04 - NÃO SÃO CONSIDERADOS PARA O PROJETO ELEMENTOS COMPLEMENTARES E INFRAESTRUTURA NECESSÁRIA AOS SISTEMAS, TAIS COMO FIXAÇÕES, SUPORTES, EMBASAMENTO, ABRIGOS PARA BOMBAS, ARMÁRIOS TÉCNICOS E OUTROS ELEMENTOS EXECUTIVOS.
- 05 - TODAS AS TUBULAÇÕES LANÇADAS SÃO CONSIDERADAS EMBUTIDAS EM ALVENARIA OU EM ENTREFORROS NOS PAVIMENTOS.
- 06 - CONSIDERAÇÕES DE OCUPAÇÃO TÉCNICA DAS COBERTURAS DAS EDIFICAÇÕES POR OUTRAS INSTALAÇÕES NECESSÁRIAS AO FUNCIONAMENTO DAS EDIFICAÇÕES FORAM DESCONSIDERADAS.

**LEGENDA E SIMBOLOGIA**

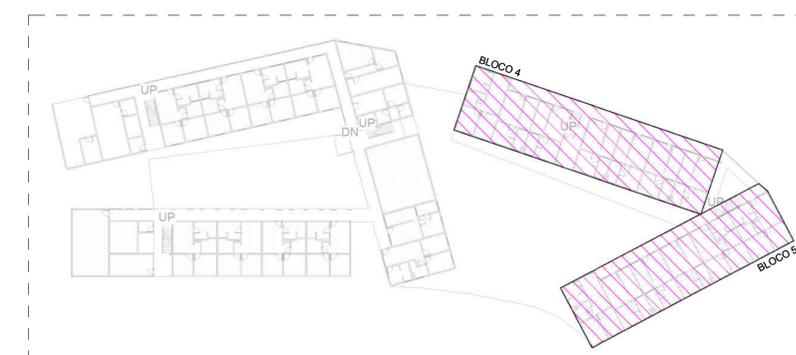
-  - TUBULAÇÃO DE CIRCULAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA QUENTE EM CPVC
-  - TUBULAÇÃO DE ÁGUA FRIA EM PVC PBS MARROM
-  GL - REGISTRO GLOBO DE FECHAMENTO DOS RAMAIS DE ALIMENTAÇÃO DOS APARTAMENTOS
-  MI - INDICAÇÃO DE MEDIDOR INDIVIDUAL PARA OS APARTAMENTOS
-  - TUBULAÇÃO QUE SOBE
-  - TUBULAÇÃO QUE DESCE
-  - REPRESENTAÇÃO DE COLUNAS DE ÁGUA QUENTE



**1** PAV TIPO BLOCO 4  
1 : 75

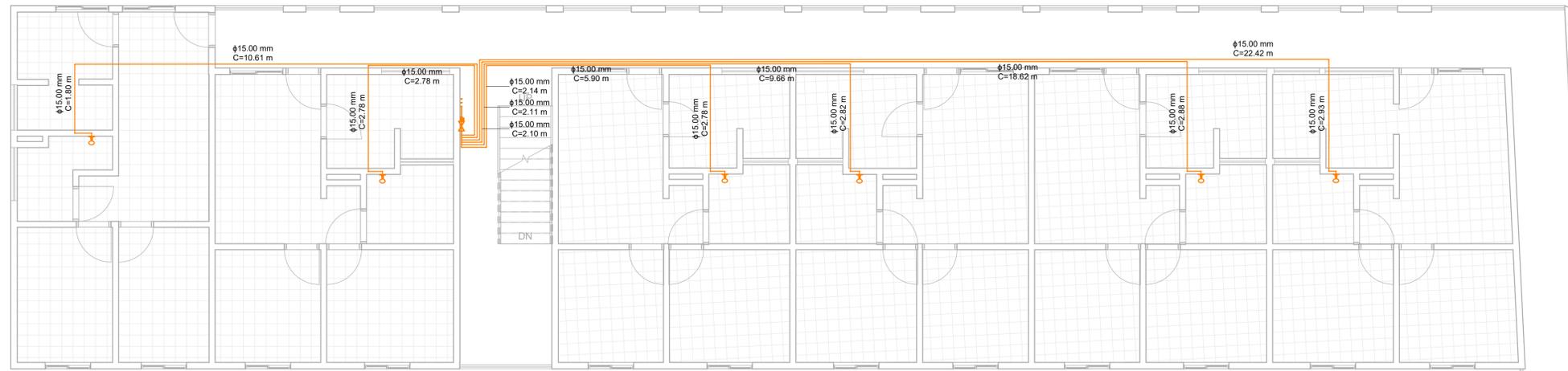


**2** PAV TIPO BLOCO 5  
1 : 75

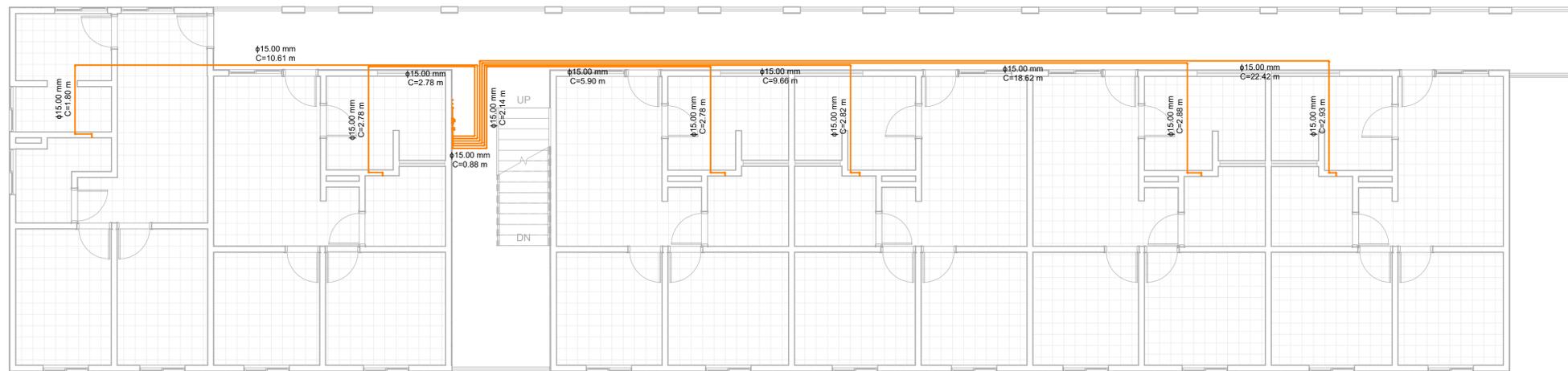


**3** PLANTA CHAVE B TIPO  
1 : 500

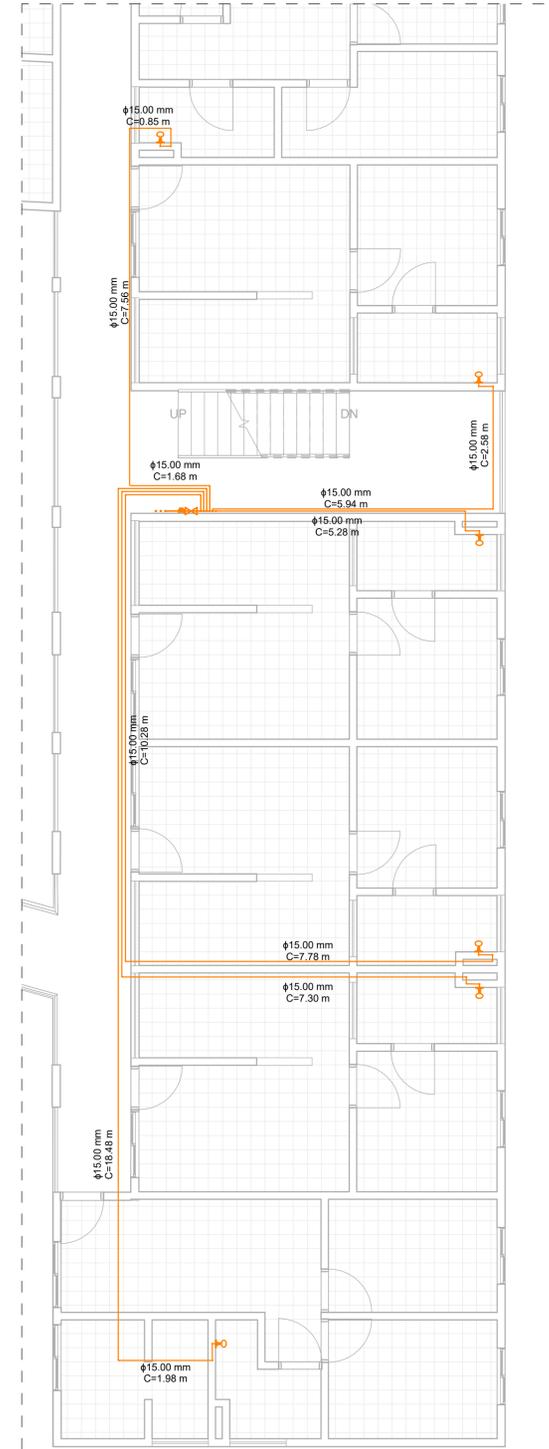
PROJETO: <b>PEA UFRJ - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO</b> <b>CONJUNTO HABITACIONAL QUILOMBO DA GAMBOA</b> <b>FUNDAÇÃO BENTO RUBIÃO</b> RUA DA GAMBOA, TERRENOS 347 A 365/367, BAIRRO DA GAMBOA RIO DE JANEIRO, RJ		
ESPECIALIDADE:	ETAPA: ESTUDO PRELIMINAR	ESCALA: As indicated
ASSUNTO: PLANTA PAV TIPO B - BLOCOS 4 E 5	PROJETO: ARTHUR BASTOS ENGENHEIRO CIVIL	ARQUIVO: 06/10
DESENHO:	REGISTRO: 2015113134 - CREARJ	DESENHO: 06/10
	DATA ÚLTIMA EMISSÃO:	



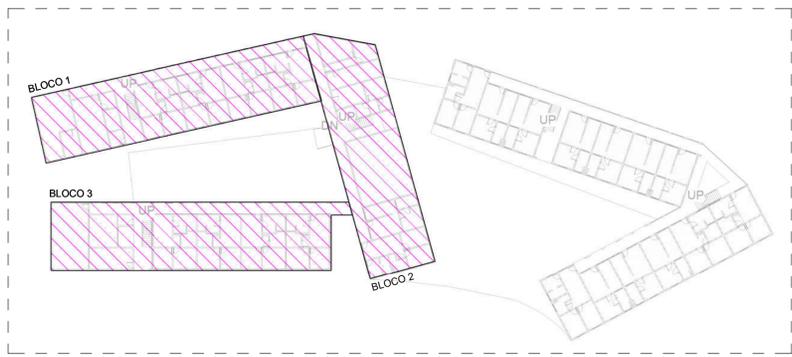
1 PAV TIPO BLOCO 1  
1 : 75



3 PAV TIPO BLOCO 3  
1 : 75



2 PAV TIPO BLOCO 2  
1 : 75



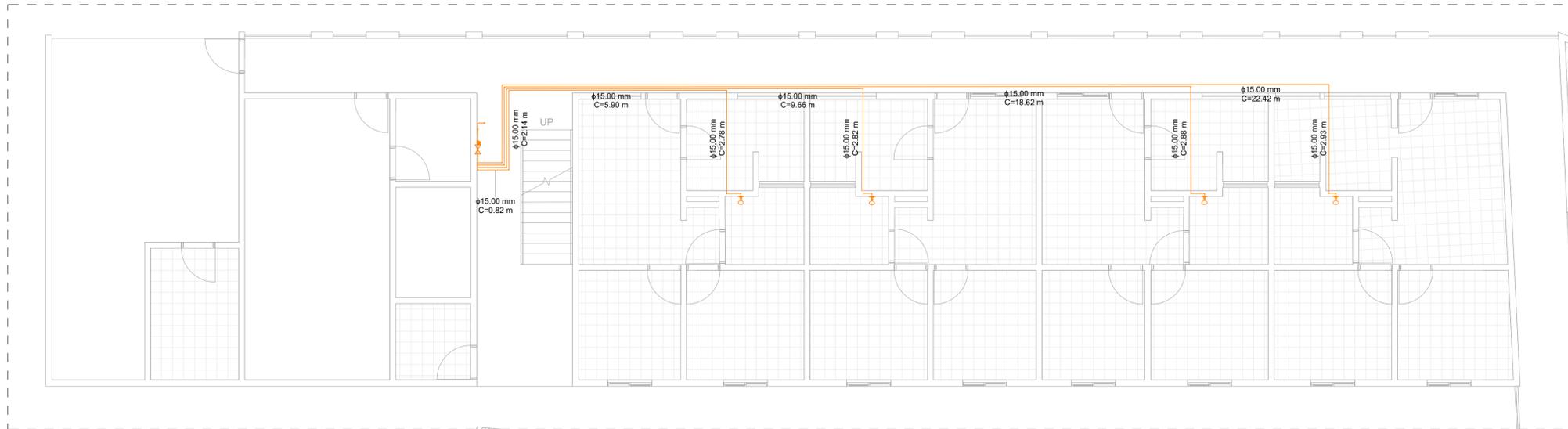
4 PLANTA CHAVE A TIPO  
1 : 500

QUADRO DE NOTAS	
01 -	TODAS AS COTAS SÃO DADAS EM METROS, EXCETO INDICAÇÕES ESPECÍFICAS.
02 -	TODOS OS DIÂMETROS SÃO DADOS EM MILÍMETROS, EXCETO INDICAÇÕES ESPECÍFICAS.
03 -	NÃO SÃO DETALHADOS REGISTROS DE GAVETA DE FECHAMENTO TAMPOUCO MISTURADORES E VÁLVULAS DAS DUCHAS, UMA VEZ QUE ESTES ELEMENTOS NÃO SÃO CONSIDERADOS NA ANÁLISE DO PROJETO PRELIMINAR
04 -	NÃO SÃO CONSIDERADOS PARA O PROJETO ELEMENTOS COMPLEMENTARES E INFRAESTRUTURA NECESSÁRIA AOS SISTEMAS, TAIS COMO FIXAÇÕES, SUPORTES, EMBASAMENTO, ABRIGOS PARA BOMBAS, ARMÁRIOS TÉCNICOS E OUTROS ELEMENTOS EXECUTIVOS.
05 -	TODAS AS TUBULAÇÕES LANÇADAS SÃO CONSIDERADAS EMBUTIDAS EM ALVENARIA OU EM ENTREFORROS NOS PAVIMENTOS.
06 -	CONSIDERAÇÕES DE OCUPAÇÃO TÉCNICA DAS COBERTURAS DAS EDIFICAÇÕES POR OUTRAS INSTALAÇÕES NECESSÁRIAS AO FUNCIONAMENTO DAS EDIFICAÇÕES FORAM DESCONSIDERADAS.

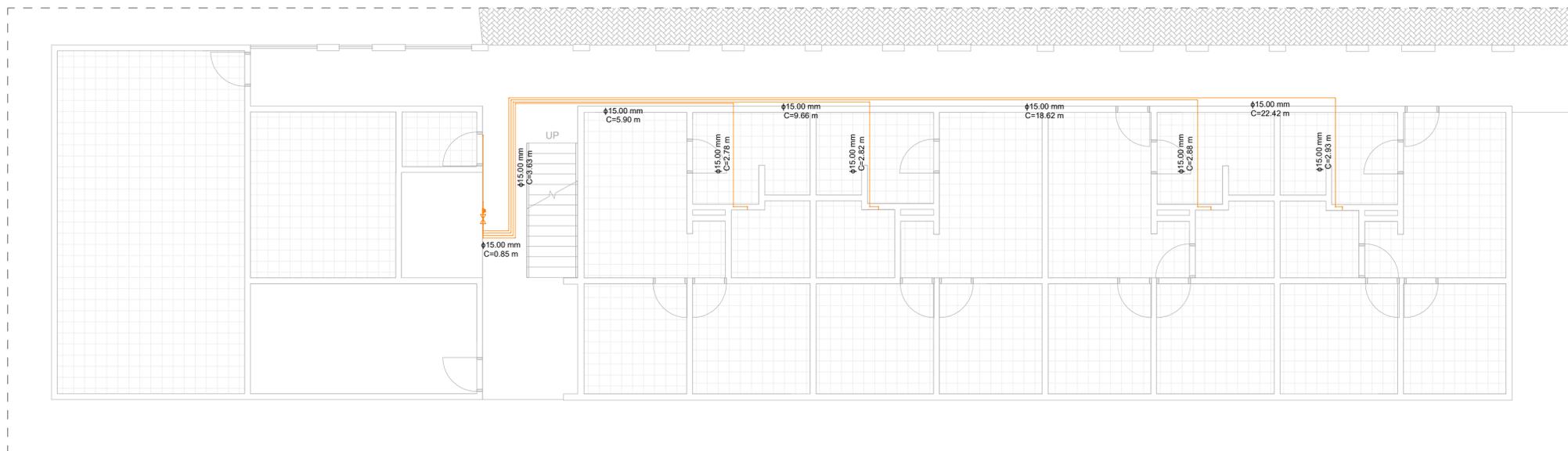
  

LEGENDA E SIMBOLOGIA	
	TUBULAÇÃO DE CIRCULAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA QUENTE EM CPVC
	TUBULAÇÃO DE ÁGUA FRIA EM PVC PBS MARROM
	REGISTRO GLOBO DE FECHAMENTO DOS RAMAIS DE ALIMENTAÇÃO DOS APARTAMENTOS
	INDICAÇÃO DE MEDIDOR INDIVIDUAL PARA OS APARTAMENTOS
	TUBULAÇÃO QUE SOBE
	TUBULAÇÃO QUE DESCE
	REPRESENTAÇÃO DE COLUNAS DE ÁGUA QUENTE

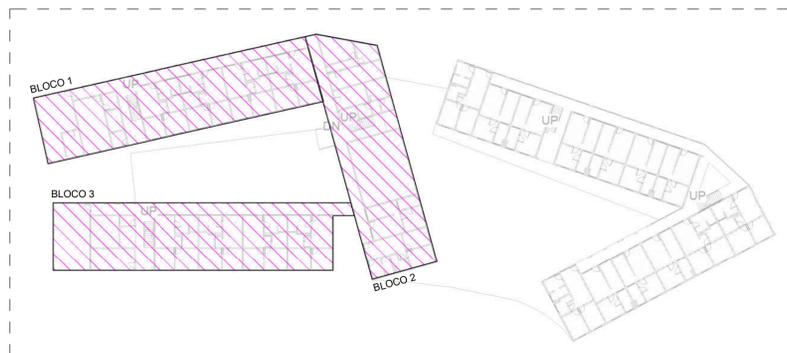
PROJETO: <b>PEA UFRJ - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO CONJUNTO HABITACIONAL QUILOMBO DA GAMBOA FUNDAÇÃO BENTO RUBIÃO</b> RUA DA GAMBOA, TERRENOS 347 A 365/367, BAIRRO DA GAMBOA RIO DE JANEIRO, RJ		
ESPECIALIDADE:	ETAPA: <b>ESTUDO PRELIMINAR</b>	ESCALA: As indicated
ASSUNTO: <b>PLANTA PAV TIPO A - BLOCOS 1, 2 E 3</b>	PROJETO: ARTHUR BASTOS ENGENHEIRO CIVIL	ARQUIVO: DESENHO: <b>07/10</b>
DESENHO:	REGISTRO: 2015113134 - CREARJ	DATA ÚLTIMA EMISSÃO:



1 **TÉRREO BLOCO 1**  
1:75



3 **TÉRREO BLOCO 3**  
1:75

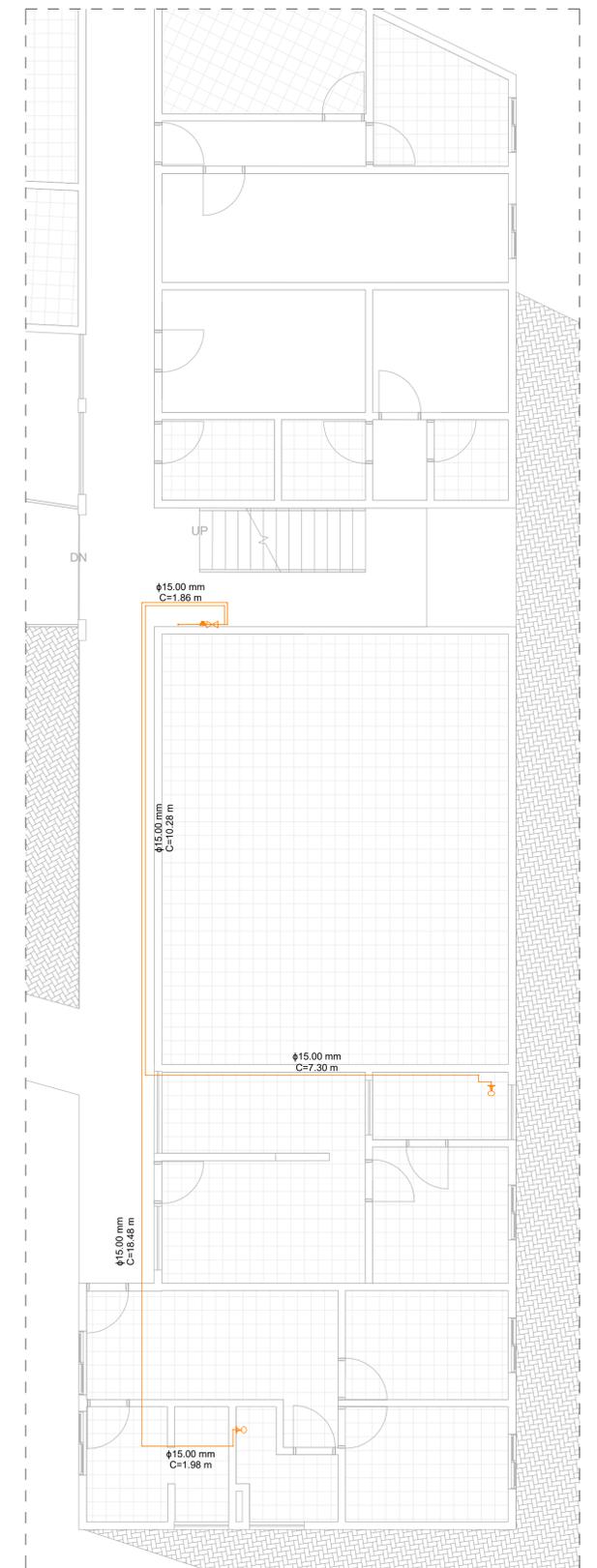


4 **PLANTA CHAVE A**  
**TÉRREO**  
1:500

QUADRO DE NOTAS	
01 -	TODAS AS COTAS SÃO DADAS EM METROS, EXCETO INDICAÇÕES ESPECÍFICAS.
02 -	TODOS OS DIÂMETROS SÃO DADOS EM MILÍMETROS, EXCETO INDICAÇÕES ESPECÍFICAS.
03 -	NÃO SÃO DETALHADOS REGISTROS DE GAVETA DE FECHAMENTO TAMPOUCO MISTURADORES E VÁLVULAS DAS DUCHAS, UMA VEZ QUE ESTES ELEMENTOS NÃO SÃO CONSIDERADOS NA ANÁLISE DO PROJETO PRELIMINAR
04 -	NÃO SÃO CONSIDERADOS PARA O PROJETO ELEMENTOS COMPLEMENTARES E INFRAESTRUTURA NECESSÁRIA AOS SISTEMAS, TAIS COMO FIXAÇÕES, SUPORTES, EMBASAMENTO, ABRIGOS PARA BOMBAS, ARMÁRIOS TÉCNICOS E OUTROS ELEMENTOS EXECUTIVOS.
05 -	TODAS AS TUBULAÇÕES LANÇADAS SÃO CONSIDERADAS EMBUTIDAS EM ALVENARIA OU EM ENTREFORROS NOS PAVIMENTOS.
06 -	CONSIDERAÇÕES DE OCUPAÇÃO TÉCNICA DAS COBERTURAS DAS EDIFICAÇÕES POR OUTRAS INSTALAÇÕES NECESSÁRIAS AO FUNCIONAMENTO DAS EDIFICAÇÕES FORAM DESCONSIDERADAS.

LEGENDA E SIMBOLOGIA	
	- TUBULAÇÃO DE CIRCULAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA QUENTE EM CPVC
	- TUBULAÇÃO DE ÁGUA FRIA EM PVC PBS MARROM
	- REGISTRO GLOBO DE FECHAMENTO DOS RAMAIS DE ALIMENTAÇÃO DOS APARTAMENTOS
	- INDICAÇÃO DE MEDIDOR INDIVIDUAL PARA OS APARTAMENTOS
	- TUBULAÇÃO QUE SOBE
	- TUBULAÇÃO QUE DESCE
	- REPRESENTAÇÃO DE COLUNAS DE ÁGUA QUENTE



2 **TÉRREO BLOCO 2**  
1:75

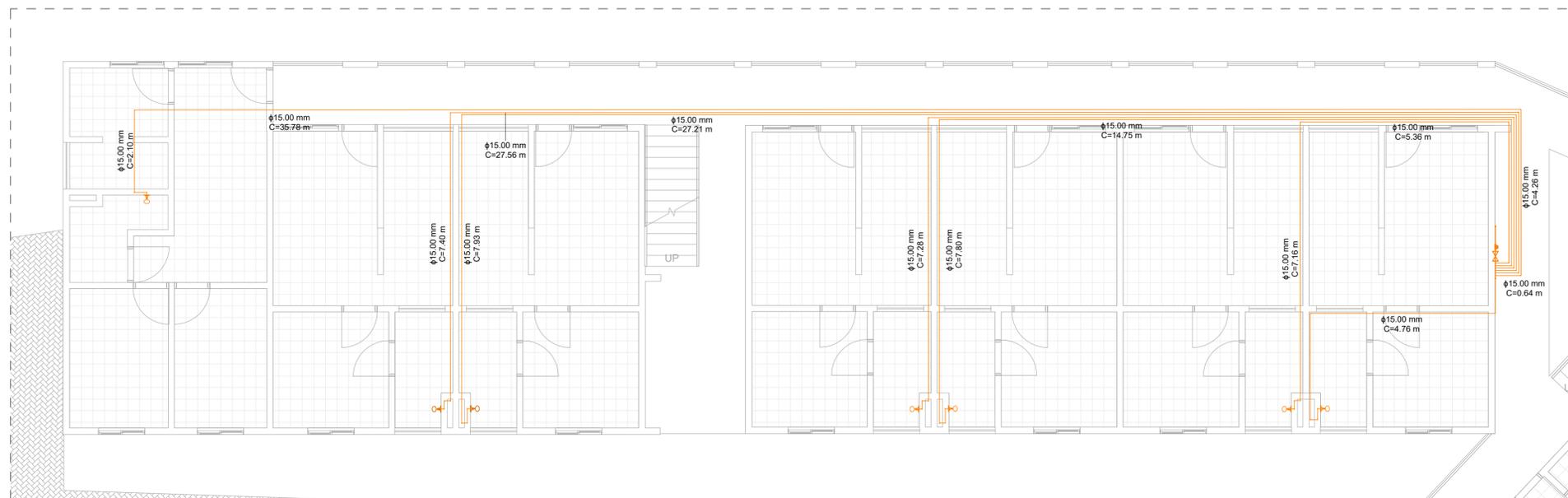
PROJETO: <b>PEA UFRJ - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO</b> <b>CONJUNTO HABITACIONAL QUILOMBO DA GAMBOA</b> <b>FUNDAÇÃO BENTO RUBIÃO</b> RUA DA GAMBOA, TERRENOS 347 A 365/367, BAIRRO DA GAMBOA RIO DE JANEIRO, RJ		
ESPECIALIDADE:	ETAPA: <b>ESTUDO PRELIMINAR</b>	ESCALA: As indicated
ASSUNTO: <b>PLANTA PAV TÉRREO A - BLOCOS 1, 2 E 3</b>	REGISTRO: 2015113134 - CREARJ	ARQUIVO: DESENHO: <b>08/10</b>
PROJETO: ARTHUR BASTOS ENGENHEIRO CIVIL	DESENHO: DATA ÚLTIMA EMISSÃO:	

**QUADRO DE NOTAS**

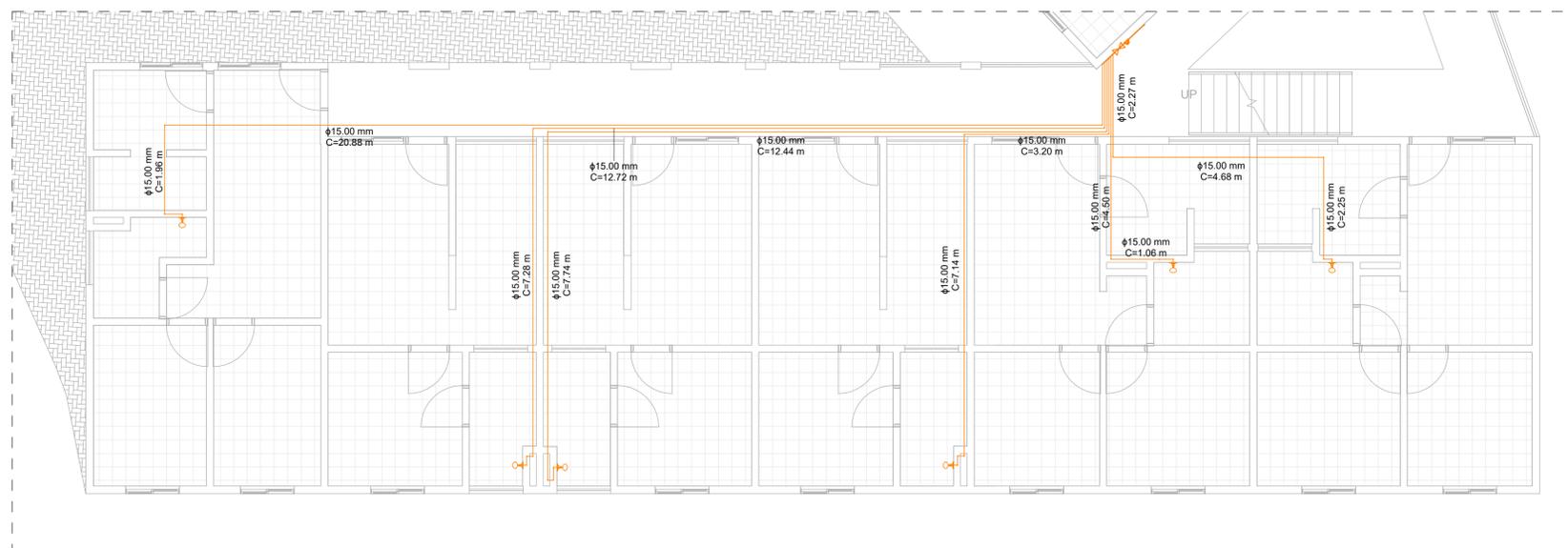
- 01 - TODAS AS COTAS SÃO DADAS EM METROS, EXCETO INDICAÇÕES ESPECÍFICAS.
- 02 - TODOS OS DIÂMETROS SÃO DADOS EM MILÍMETROS, EXCETO INDICAÇÕES ESPECÍFICAS.
- 03 - NÃO SÃO DETALHADOS REGISTROS DE GAVETA DE FECHAMENTO TAMPOUCO MISTURADORES E VÁLVULAS DAS DUCHAS, UMA VEZ QUE ESTES ELEMENTOS NÃO SÃO CONSIDERADOS NA ANÁLISE DO PROJETO PRELIMINAR
- 04 - NÃO SÃO CONSIDERADOS PARA O PROJETO ELEMENTOS COMPLEMENTARES E INFRAESTRUTURA NECESSÁRIA AOS SISTEMAS, TAIS COMO FIXAÇÕES, SUPORTES, EMBASAMENTO, ABRIGOS PARA BOMBAS, ARMÁRIOS TÉCNICOS E OUTROS ELEMENTOS EXECUTIVOS.
- 05 - TODAS AS TUBULAÇÕES LANÇADAS SÃO CONSIDERADAS EMBUTIDAS EM ALVENARIA OU EM ENTREFORROS NOS PAVIMENTOS.
- 06 - CONSIDERAÇÕES DE OCUPAÇÃO TÉCNICA DAS COBERTURAS DAS EDIFICAÇÕES POR OUTRAS INSTALAÇÕES NECESSÁRIAS AO FUNCIONAMENTO DAS EDIFICAÇÕES FORAM DESCONSIDERADAS.

**LEGENDA E SIMBOLOGIA**

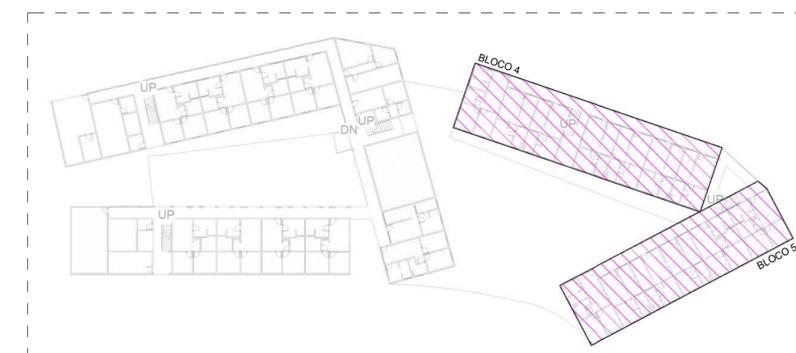
-  - TUBULAÇÃO DE CIRCULAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA QUENTE EM CPVC
-  - TUBULAÇÃO DE ÁGUA FRIA EM PVC PBS MARROM
-  GL - REGISTRO GLOBO DE FECHAMENTO DOS RAMAIS DE ALIMENTAÇÃO DOS APARTAMENTOS
-  MI - INDICAÇÃO DE MEDIDOR INDIVIDUAL PARA OS APARTAMENTOS
-  - TUBULAÇÃO QUE SOBE
-  - TUBULAÇÃO QUE DESCE
-  - REPRESENTAÇÃO DE COLUNAS DE ÁGUA QUENTE



**1** TÉRREO BLOCO 4  
1 : 75

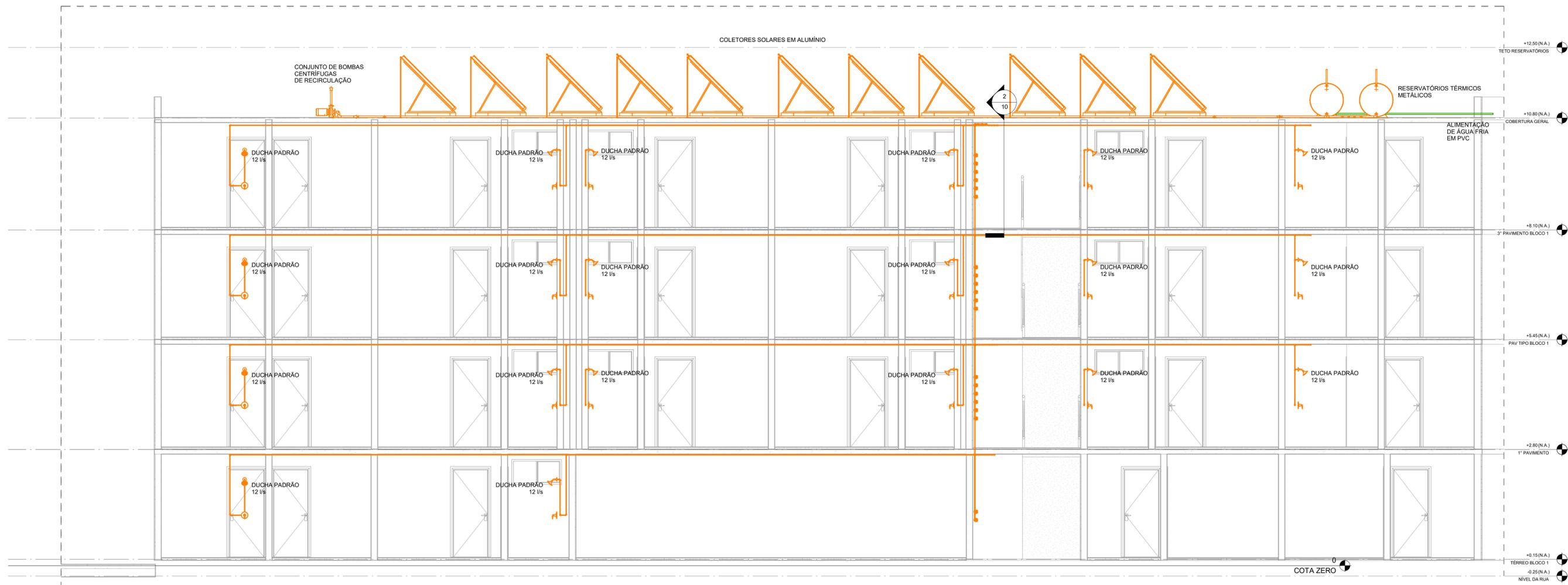


**2** TÉRREO BLOCO 5  
1 : 75

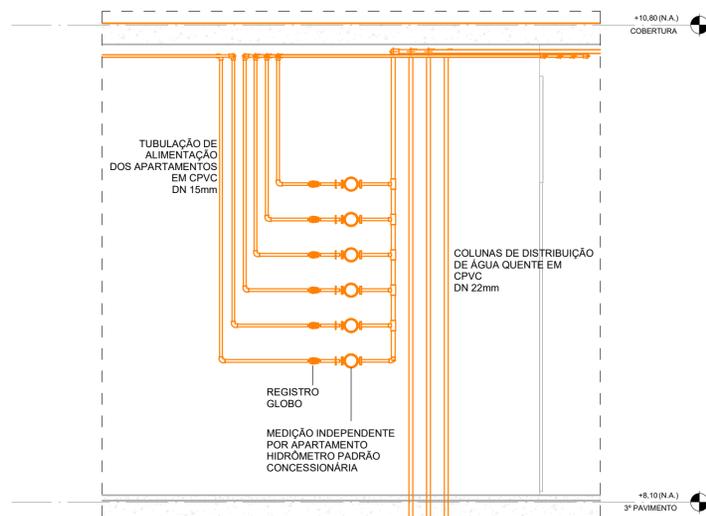


**3** PLANTA CHAVE B  
TÉRREO  
1 : 500

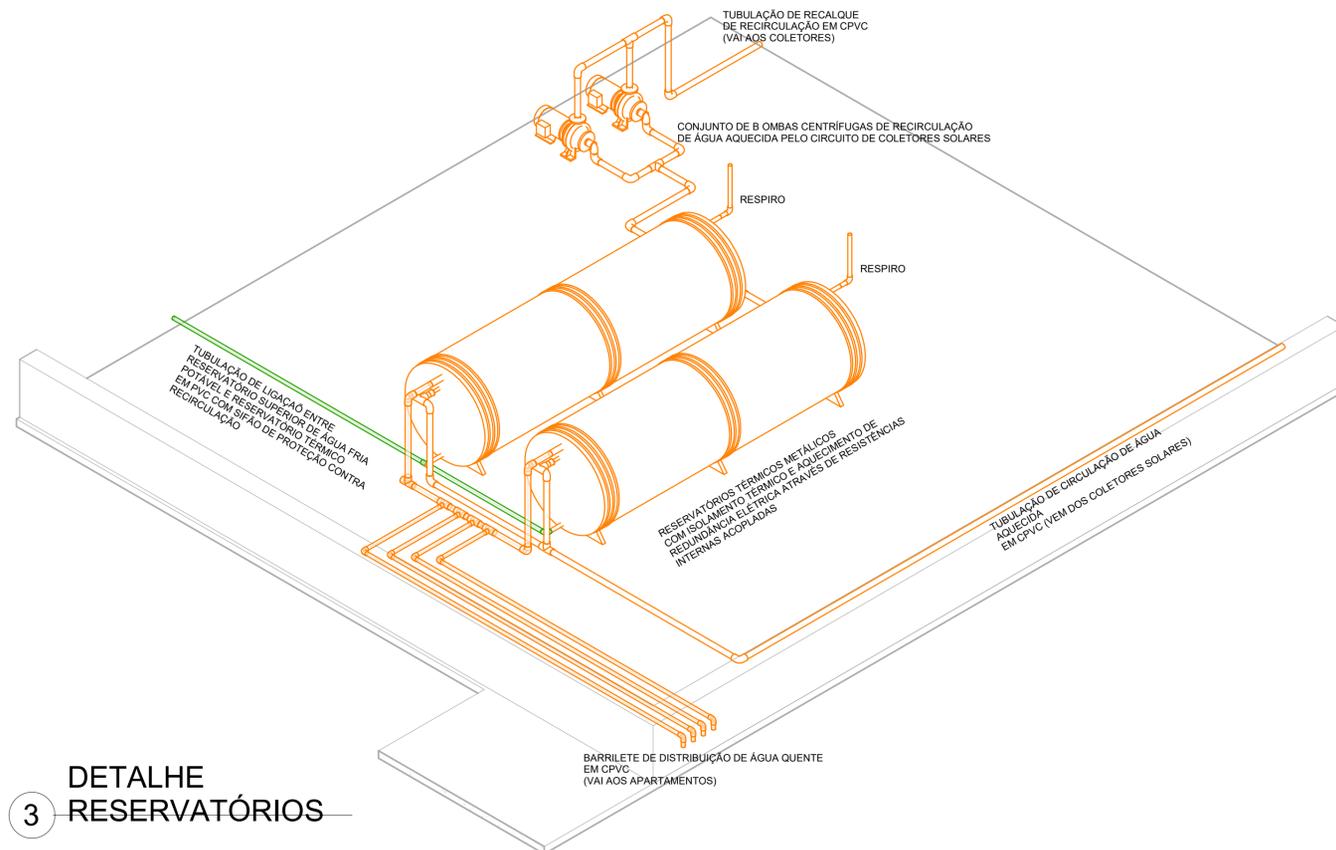
PROJETO: <b>PEA UFRJ - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO CONJUNTO HABITACIONAL QUILOMBO DA GAMBOA FUNDAÇÃO BENTO RUBIÃO</b> RUA DA GAMBOA, TERRENOS 347 A 365/367, BAIRRO DA GAMBOA RIO DE JANEIRO, RJ		
ESPECIALIDADE:	ETAPA: <b>ESTUDO PRELIMINAR</b>	ESCALA: As indicated
ASSUNTO: <b>PLANTA PAV TÉRREO B - BLOCOS 4 E 5</b>	PROJETO: ARTHUR BASTOS ENGENHEIRO CIVIL	ARQUIVO: <b>09/10</b>
DESENHO:	REGISTRO: 2015113134 - CREARJ	DESENHO: DATA ÚLTIMA EMISSÃO:



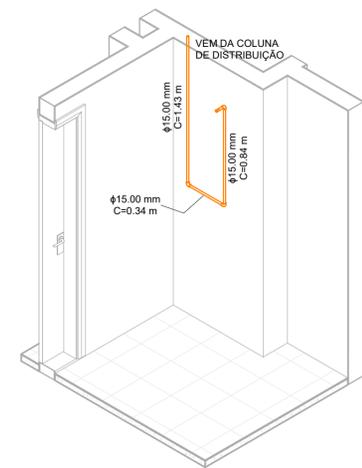
**BLOCO 2 - CORTE ESQUEMÁTICO**  
1 : 50



**DETALHE MEDIÇÃO**  
1 : 20



**DETALHE RESERVATÓRIOS**



**PERSPECTIVA DUCHA**

PROJETO: <b>PEA UFRJ - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO</b> <b>CONJUNTO HABITACIONAL QUILOMBO DA GAMBOA</b> <b>FUNDAÇÃO BENTO RUBIÃO</b> RUA DA GAMBOA, TERRENOS 347 A 365/367, BAIRRO DA GAMBOA RIO DE JANEIRO, RJ		
ESPECIALIDADE:	ETAPA: ESTUDO PRELIMINAR	ESCALA: As indicated
ASSUNTO: DIAGRAMA VERTICAL ESQUEMÁTICO INSTALAÇÃO E DETALHE MEDIÇÃO	PROJETO: ARTHUR BASTOS ENGENHEIRO CIVIL	ARQUIVO: DESENHO: 10/10
DESENHO:	REGISTRO: 2015113134 - CREARJ	DATA ÚLTIMA EMISSÃO: