

**INFLUÊNCIA DO USUÁRIO NA ECONOMIA DE  
ENERGIA OBTIDA POR MEIO DO USO DE SISTEMA  
DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA EM  
HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL**

Thalita Gorban Ferreira Giglio



Thalita Gorban Ferreira Giglio

**INFLUÊNCIA DO USUÁRIO NA ECONOMIA DE ENERGIA  
OBTIDA POR MEIO DO USO DE SISTEMA DE  
AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA EM HABITAÇÕES DE  
INTERESSE SOCIAL**

Tese submetida ao Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Civil da  
Universidade Federal de Santa  
Catarina para obtenção do Grau de  
Doutor em Engenharia Civil.  
Orientador: Prof. Roberto Lamberts,  
PhD

Florianópolis  
2015

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

Giglio, Thalita Gorban Ferreira  
Influência do usuário na economia de energia obtida por  
meio do uso de sistema de aquecimento solar de água em  
habitações de interesse social. / Thalita Gorban Ferreira  
Giglio ; orientador, Roberto Lamberts - Florianópolis, SC,  
2015.

257 p.

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

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Sistema de aquecimento solar de  
água. 3. Habitação de interesse social. 4. Medição da  
economia de energia. 5. Análise de agrupamento. I.  
Lamberts, Roberto. II. Universidade Federal de Santa  
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.  
III. Título.

Thalita Gorban Ferreira Giglio

**INFLUÊNCIA DO USUÁRIO NA ECONOMIA DE ENERGIA  
OBTIDA POR MEIO DO USO DE SISTEMA DE  
AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA EM HABITAÇÕES DE  
INTERESSE SOCIAL**

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de DOUTOR em Engenharia Civil, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

Florianópolis, 14 de agosto de 2015.

---

Prof. Glicério Trichês, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Roberto Lamberts, PhD. – UFSC  
Orientador e Moderador

---

Prof. Gilberto De Martino Jannuzzi, Ph.D. – UNICAMP  
(Videoconferência)

---

Prof. Leopoldo Enrico Gonçalves Bastos, Dr. – UFRJ  
(Videoconferência)

---

Prof. Samuel Luna de Abreu, Dr. – IFSC

---

Prof. EneDir Ghisi, Ph.D. – UFSC

---

Prof. Ricardo Rüter, Ph.D. – UFSC



Dedico este trabalho à minha família.



## AGRADECIMENTOS

A Deus, que me deu disposição para concluir todas as etapas desta pesquisa.

Ao meu marido Luiz Afonso e meus filhos Matheus e Leonardo, que são minha fonte de inspiração.

Aos meus pais e irmã, pela ajuda incondicional que sempre me deram.

Aos meus sogros e familiares, pelo apoio e incentivo.

Ao meu orientador Prof. Roberto Lamberts que, com sua experiência e contribuições proporcionadas, me deu segurança para o desenvolvimento desta tese.

Aos professores Enedir Ghisi (UFSC), Samuel Luna de Abreu (IFSC) e Gilberto Jannuzzi (Unicamp) pelas contribuições feitas na banca de qualificação.

À professora e amiga Miriam Jerônimo Barbosa (UEL), pela coordenação do projeto de pesquisa do qual se obteve recurso financeiro para este estudo, pela ajuda na aplicação de vários questionários no Residencial Vista Bela, e acompanhamento de todas as etapas de trabalho.

Aos professores da UEL, Osni Vicente e Juliani Piai do Departamento de Engenharia Elétrica, Mariana Urbano do Departamento de Estatística e, Aron Petrucci, Marcos Carlos Strass e Claudia Donald Pereira, do Departamento de Construção Civil, que me auxiliaram em etapas específicas deste estudo.

À professora e amiga Ercilia Hitomi Hirota (UEL), pela ajuda na etapa final de redação da tese.

À Universidade Estadual de Londrina, instituição executora do projeto de pesquisa que subsidiou este estudo, por conceder não somente estrutura física de laboratórios e transporte ao Residencial Vista Bela, mas também pela licença parcial concedida ao longo de três anos e meio de docência, para a realização desta tese.

Aos alunos Micheli Beal, Luan Mocheuti, Luiz Bueno e Caio Garcia pela grande ajuda na aplicação de questionários e na realização de ensaios em laboratório.

Ao técnico Junio Schimitt Salvador, responsável pela instalação dos equipamentos de medição nas unidades habitacionais do Residencial Vista Bela.

Aos funcionários da UEL, Claudemir pela colaboração nas instalações elétricas e Ivan pelo auxílio no laboratório de hidráulica.

Aos técnicos do SENAI - Londrina pelos ensaios realizados com os sensores de temperatura.

Ao corpo técnico da ONSET Brasil, que me auxiliou na operação dos equipamentos de medição.

Ao Engenheiro Antônio da COPEL e, ao Engenheiro Gil da SANEPAR, pelo fornecimento de dados de consumo de energia e água de 200 famílias moradoras do Residencial Vista Bela.

À Assistente Social Edna Braun e equipe técnica da Cohab - Londrina pelo apoio e acompanhamento nas etapas iniciais deste estudo.

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro concedido.

E às famílias da Sra. Maria Ana, Sra. Isabel, Sra. Priscila, Sra. Marlene, Sra. Janete, e Sra. Patrícia, moradoras do Residencial Vista Bela, por abrirem as portas de suas moradias, permitindo a instalação de vários equipamentos e o monitoramento de mais de um ano.

## RESUMO

No Brasil, o uso de sistemas de aquecimento solar em empreendimentos habitacionais de interesse social tem crescido substancialmente por meio de subsídios públicos. Embora o fomento seja importante para a difusão da tecnologia, não se sabe o real desempenho do sistema em uso e se este desempenho é afetado pelo comportamento do usuário em um contexto composto por muitos problemas socioeconômicos. Conduzido pelo fato de que a forma como o usuário se apropria da edificação influencia significativamente no consumo de energia, o objetivo desta pesquisa é analisar a influência do usuário de baixa renda na economia de energia obtida por meio do uso de sistemas de aquecimento solar de água. Para isso, a estratégia adotada integra uma abordagem social e qualitativa a uma abordagem técnica, por medição. Inicialmente, foi desenvolvido um estudo de caso em Londrina, Paraná, com 200 famílias de baixa renda. Aplicando a técnica de análise de agrupamento, cinco subgrupos homogêneos foram identificados, reduzindo a variabilidade existente. Posteriormente, foi desenvolvido um procedimento de medição detalhada em cinco unidades representativas dos subgrupos. Por meio de um ano de monitoramento em tempo real, obtiveram-se dados de vazão, temperatura e potência, permitindo entender como os fatores de influência afetam a economia. Embora as condições de radiação solar e características técnicas dos sistemas fossem similares, foi obtida uma grande dispersão nos dados de economia de energia, que em média anual, variaram de 9,51 a 18,6 kWh/pessoa. Obteve-se fração solar anual máxima de 0,87, obtida por usuários que utilizam o sistema de maneira mais eficiente. Já os resultados mais altos de economia foram obtidos por usuários com maiores tempos de banho. A falta de entendimento de como funciona a tecnologia e a dificuldade para mistura da água foram os principais fatores que reduziram a economia de energia. Em média, o sistema proporcionou economia de energia acumulada anual de 145 kWh/pessoa e redução na conta de energia de 26%. A redução na demanda máxima de pico atingiu média anual de 75%. O estudo comprova benefícios do sistema de aquecimento solar. Entretanto, estes variam de acordo com a relação entre o usuário e a forma como ele se apropria da tecnologia, relação esta com forte influência do contexto social.

**Palavras-chave:** Sistema de aquecimento solar de água. Habitação de interesse social. Medição da economia de energia.



## ABSTRACT

Due to government subsidies, Brazil has witnessed an increase in the use of small solar water heating systems in low-income housing projects. Although the grant is important for the technology diffusion, we do not know the actual performance of the system in use and if this performance is affected by user behaviour in a housing context composed of many socioeconomic problems. Driven by the fact that the way the user understands the system influences significantly the energy consumption, the objective of this research is to assess the influence of human behaviour on potential solar water heating system-induced savings. For this, the research strategy integrates a social and qualitative approach with measurements. Initially, a case study in Londrina, Brazil, was undertaken with 200 low-income families. Applying cluster analysis technique, five homogeneous subgroups were identified, reducing the variability. Subsequently, it was implemented a detailed measurement procedure in representative homogeneous subgroups during one year. Measurement of water flow, temperature and power were performed and allowed to understand how the influencing factors affect the results of savings. Although the conditions of solar radiation and the technical characteristics of the systems were similar, large data dispersion was obtained. The energy savings, in annual average, ranged from 9.51 to 18.6 kWh/person. The highest annual solar fractions, reaching 0.87 in this study, were obtained by users who use the system more efficiently. Users with greater shower times obtained the highest savings with solar heating system. The lack of understanding of how the technology works and the difficulty in mixing hot and cold water were the main factors that have reduced energy savings. On average, the system provided annual energy savings of 145 kWh/person and 26% of reduction in the energy bill. Reduction, in maximum peak demand reached 75%, in annual average. Thus, the study shows benefits of solar heating system. However, these benefits vary according to the relationship between the user and their way of using the technology, a relationship with a strong influence of the social context.

**Keywords:** Solar water heating system. Low-income housing. Measurement of energy savings.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Evolução da capacidade instalada de coletor solar no Brasil. ....	37
Figura 2 – Participação da produção de sistema de aquecimento solar por setor, no Brasil. ....	38
Figura 3 - Habitações entregues na primeira fase do programa Minha Casa, Minha Vida. ....	40
Figura 4 - Diagrama esquemático do sistema de aquecimento solar predominantemente adotado nas habitações de interesse social do Brasil, no âmbito do programa Minha Casa, Minha Vida e do Programa de Eficiência Energéticas da ANEEL. ....	45
Figura 5 - Exemplo de tipologia adotada em unidades habitacionais da CDHU em parceria com empresas distribuidoras de energia elétrica. ...	47
Figura 6 - Curva de carga média mensal para aquecimento da água em habitações da Flórida, com variadas tipologias de sistema de aquecimento de água. ....	63
Figura 7 - Consumo médio mensal para aquecimento da água antes e após a introdução do sistema de aquecimento solar em habitações de interesse social da Flórida. ....	65
Figura 8 - Participação do sistema de aquecimento de água no consumo total de energia elétrica antes e após a instalação do sistema de aquecimento solar em habitações de interesse social da Flórida. ....	66
Figura 9 - Demanda de pico em 21 habitações com sistema de aquecimento solar (a) e 17 habitações sem o sistema (b), localizadas no Havái. ....	69
Figura 10 - Modelo do Coletor Solar Compacto instalado nas habitações de interesse social do Residencial Solar Buona Vita, Florianópolis, SC. ....	76
Figura 11 – Vista das unidades habitacionais unifamiliares do Residencial Vista Bela, dispostas em pares em lotes subdivididos, anterior à entrega aos moradores. ....	82
Figura 12 - Planta baixa da unidade habitacional térrea do Residencial Vista Bela, Londrina. ....	82
Figura 13 - Componentes do sistema de aquecimento solar adotado nas unidades térreas do Residencial Vista Bela. ....	83
Figura 14 - Corte parcial sem escala, com posicionamento do sistema de aquecimento solar em unidade habitacional do Residencial Vista Bela, Londrina. ....	85

Figura 15 - Vista interna do banheiro de uma unidade habitacional do Residencial Vista Bela, com destaque para os registros de mistura da água do banho. ....	86
Figura 16 – Localização de Londrina no país (a) e no estado do Paraná (b).....	87
Figura 17 - Vista aérea da cidade de Londrina com a localização do Residencial Vista Bela. ....	88
Figura 18 - Irradiação solar global diária horizontal, e temperatura média do ar (de 1976 a 2014) em Londrina. ....	89
Figura 19 - Implantação parcial do Residencial Vista Bela com as unidades habitacionais selecionadas para o estudo. ....	94
Figura 20 - Procedimento adotado para a definição de subgrupos homogêneos. ....	100
Figura 21 - Perfil da população envolvida na análise .....	103
Figura 22 - Relação entre o nível de escolaridade e a dificuldade para misturar a água do banho pelos moradores do Residencial Vista Bela em amostra de 200 unidades. ....	104
Figura 23 – Condições de pagamento da conta de energia elétrica na antiga moradia em amostra de 200 unidades habitacionais do Residencial Vista Bela. ....	105
Figura 24 - Consumo médio mensal de energia elétrica (período de janeiro a junho de 2012) pelos moradores do Residencial Vista Bela em amostra de 200 unidades habitacionais. ....	107
Figura 25 - Consumo médio mensal de água (período de janeiro a junho de 2012) pelos moradores do Residencial Vista Bela em amostra de 200 unidades habitacionais. ....	107
Figura 26 - Correlação entre consumo mensal de energia elétrica e de água em amostra de 200 unidades habitacionais.....	108
Figura 27 - Porcentagem de economia na conta de energia em amostra de 200 unidades habitacionais, referente aos dados mensais de consumo de energia medidos de janeiro a junho de 2012. ....	108
Figura 28 - Variabilidade dos 27 atributos de influência em famílias de quatro pessoas, em amostra de 200 unidades habitacionais do Residencial Vista Bela. ....	109
Figura 29 - Diagrama de perfil com a subdivisão da amostra de 200 unidades habitacionais do Residencial Vista Bela em cinco subgrupos homogêneos (A1, A2, A3, A4 e A5).....	111
Figura 30 - Classificação dos subgrupos homogêneos em relação ao seu potencial de economia de energia com o sistema de aquecimento solar. ....	115

Figura 31 – Variação nos resultados de economia mensal de energia elétrica entre os agrupamentos formados. ....	116
Figura 32 – Variação do consumo mensal de energia elétrica (período de janeiro a junho de 2012) entre os agrupamentos formados. ....	118
Figura 33 – Variação do consumo mensal de energia elétrica (período de janeiro a junho de 2012) em famílias com quatro pessoas contidas nos agrupamentos formados. ....	118
Figura 34 – Procedimentos adotados para realização das medições do sistema de aquecimento solar em unidades habitacionais do Residencial Vista Bela. ....	121
Figura 35 – Sistema de medição adotado no monitoramento realizado em cinco unidades habitacionais do Residencial Vista Bela. ....	124
Figura 36 - Erro e resolução dos sensores de temperatura adotados na medição em unidades habitacionais do Residencial Vista Bela. ....	126
Figura 37 – Imagem do sensor de temperatura adotado na medição em unidades habitacionais do Residencial Vista Bela. ....	127
Figura 38 - Conjunto de sensores e módulo para medição da potência do chuveiro elétrico nas unidades habitacionais. ....	128
Figura 39 - Conjunto hidrômetro pulsado e fechamento de contato para leitura da vazão de água a ser aquecida pelo sistema de aquecimento solar em unidades habitacionais do Residencial Vista Bela. ....	129
Figura 40 - Piranômetro para medição de irradiação solar no plano inclinado em uma unidade habitacional do Residencial Vista Bela. ...	130
Figura 41 - Sistema de aquisição e transferência remota de dados adotado na medição em unidades habitacionais do Residencial Vista Bela. ....	130
Figura 42 - Conjunto de equipamentos que compõe o sistema de medição adotado em quatro das cinco unidades habitacionais monitoradas no Residencial Vista Bela. ....	131
Figura 43 - Sistema de aquisição e transferência remota de dados, com extensor para conexão de sete sensores, adotado em uma das unidades habitacionais monitoradas no Residencial Vista Bela. ....	132
Figura 44 - Banho térmico para calibração dos sensores de temperatura após medições em unidades habitacionais do Residencial Vista Bela. ....	134
Figura 45 - Ensaios para verificação de funcionamento dos sensores de corrente alternada e tensão utilizados na medição da potência do chuveiro elétrico em unidades habitacionais do Residencial Vista Bela. ....	135
Figura 46 - Calibração em laboratório dos hidrômetros pulsados após período de monitoramento em unidades habitacionais do Residencial Vista Bela. ....	137

Figura 47 - Conexão de sensores ao sistema de aquisição de dados para medições em unidades habitacionais do Residencial Vista Bela. ....	138
Figura 48 - Hidrômetro instalado na saída do reservatório térmico, em medições piloto em unidade habitacional do Residencial Vista Bela. ....	141
Figura 49 - Conjunto para leitura de vazão de água de banho e temperatura de banho, instalado em unidades habitacionais do Residencial Vista Bela. ....	142
Figura 50 - Detalhe da introdução do sensor de temperatura no interior do reservatório térmico em unidades habitacionais do Residencial Vista Bela. ....	143
Figura 51 - (a) Prolongador do chuveiro elétrico antes da instalação e (b) substituição do prolongador pelo conjunto de medição de vazão e temp. da água, em unidade habitacional do Residencial Vista Bela. ....	144
Figura 52 - Posicionamento do sensor de temperatura da água do banho (T2) no prolongador do chuveiro elétrico em unidade habitacional monitorada. ....	145
Figura 53 - Instalação de hidrômetro (Q1) e sensor de temperatura (T1) na tubulação de alimentação do reservatório térmico com água fria, em unidade habitacional monitorada. ....	146
Figura 54 – Ajuste do cabo do sensor de temperatura junto ao respiro, para a medição da temperatura na saída de água quente do reservatório térmico em unidade habitacional monitorada. ....	147
Figura 55 - Instalação do sensor de temperatura no interior do reservatório térmico (a) e após sua instalação (b) em unidade habitacional monitorada. ....	147
Figura 56 - Sensores de corrente - A (a) e de tensão – V (b) no circuito de alimentação do chuveiro elétrico em unidade habitacional monitorada. ....	148
Figura 57 - Módulo de conexão dos sensores de corrente e tensão instalado na estrutura do telhado em unidade habitacional monitorada. ....	148
Figura 58 - Instalação do piranômetro na estrutura do coletor solar em unidade habitacional monitorada. ....	149
Figura 59 - Instalação do sistema de aquisição e transferência de dados sobre o forro do banheiro, em unidade habitacional monitorada. ....	150
Figura 60 - Interface gráfica de análise dos dados monitorados em tempo real em unidade habitacional do Residencial Vista. ....	151
Figura 61 - Curva padrão para sensor de temperatura de água fria, obtida após o período de medição em unidade habitacional monitorada. ....	154

Figura 62 - Curva padrão para sensores de temperatura de banho (T2) com o sistema de aquecimento solar, obtida após o período de medição em unidades habitacionais monitoradas. ....	154
Figura 63 - Curva padrão para sensores de temperatura no reservatório térmico, obtida após o período de medição em unidades habitacionais monitoradas. ....	155
Figura 64 - Curva padrão para hidrômetros de leitura de vazão de água a ser aquecida (Q1) e vazão de água de banho (Q2) calibrados antes do monitoramento em unidades habitacionais monitoradas. ....	156
Figura 65 – Curva Padrão para hidrômetros de leitura da vazão de água a ser aquecida (Q1) após período de medição em unidades habitacionais monitoradas. ....	157
Figura 66 - Localização das unidades habitacionais (A1, A2, A3, A4 e A5) monitoradas por um período de um ano. ....	158
Figura 67 - Vista externa (a) e interna (b) da unidade habitacional representante do subgrupo homogêneo A1, monitorada ao longo de um ano. ....	160
Figura 68 - Imagem do sistema de aquecimento solar anterior à troca do vidro do coletor solar (a), e vista parcial da cozinha (b), na unidade habitacional representante do subgrupo homogêneo 2 (A2), monitorada ao longo de um ano. ....	161
Figura 69 - Vista externa (a) e interna (b) da unidade habitacional representante do subgrupo homogêneo 3 (A3), monitorada ao longo de um ano. ....	162
Figura 70 - Vista lateral externa (a) e interna (b) da unidade habitacional representante do subgrupo homogêneo 4 (A4), monitorada ao longo de um ano. ....	163
Figura 71 - Vista externa (a) e vista interna (b) da unidade habitacional representante do subgrupo homogêneo 5 (A5), monitorada ao longo de um ano. ....	164
Figura 72 - Ação de uso do sistema de aquecimento solar sem dificuldades para mistura da água. (a) medição de temperatura, (b) medição de vazão de água. Registro de banho em 07/10/2013, em unidade habitacional contida no agrupamento 5. ....	179
Figura 73 - Ação de uso do sistema de aquecimento solar com dificuldades para mistura da água: (a) medição de temperatura, (b) medição de vazão de água. Registro de banho em 07/10/2013, em unidade habitacional contida no agrupamento 2. ....	180
Figura 74 - Correlação entre a temperatura média mensal de banho, com o uso do sistema de aquecimento solar de banho, e a temperatura média mensal do ar. ....	183

Figura 75 – Porcentagem de tempo total de banho no ano, com uso da energia solar e energia elétrica.....	184
Figura 76 - Porcentagem do tempo de banho com acionamento da resistência elétrica de maneira eficiente (cinza escuro) e ineficiente (cinza claro). .....	185
Figura 77 - Uso do chuveiro elétrico devido à falta de água fria da rede de abastecimento. (a) medição de temperatura, (b) vazão de água, (c) potência. Registro de banho em 08/04/2013, agrupamento 5. ....	186
Figura 78 – Uso do sistema auxiliar de aquecimento pela família contida no agrupamento 5, em maio de 2013. ....	187
Figura 79 – Uso do sistema auxiliar de aquecimento pela família contida no agrupamento 2, em maio de 2013. ....	188
Figura 80 - Aproveitamento da água pré-aquecida do reservatório térmico: (a) medição de temperatura, (b) medição de vazão de água, (c) medição de potência. Registros de banhos em 27/05/2013, agrupamento 5. ....	190
Figura 81 - Correlação entre temperaturas do reservatório térmico (T3) e de banho (T2), em ações de banho com o uso da resistência elétrica, na unidade do agrupamento 5. ....	191
Figura 82 - Correlação entre temperaturas do reservatório térmico (T3) e de banho (T2), em ações de banho com o uso da resistência elétrica, na unidade do agrupamento 2. ....	192
Figura 83 - Correlação entre temperaturas do reservatório térmico (T3) e de banho (T2), em ações de banho com o uso da resistência elétrica, na unidade do agrupamento 1. ....	192
Figura 84 – Volume e vazão mensal de água quente a ser aquecida pelo sistema de aquecimento solar, para a família contida no agrupamento 5. ....	194
Figura 85 - Temperaturas médias mensais do ar e da água medidos no período de abril de 2013 a março de 2014. ....	196
Figura 86 - Potência mensal do chuveiro elétrico na linha de base e potências mensais medidas nos agrupamentos com sistema de aquecimento solar. ....	197
Figura 87 – Variação do consumo mensal de energia com o uso exclusivo do chuveiro elétrico. ....	198
Figura 88 - Tempo de banho com água quente, por pessoa, em média mensal. ....	200
Figura 89 - Consumo mensal de energia elétrica, por pessoa, para aquecer a água do banho – agrupamento 1 – Família com 2 pessoas. ....	200
Figura 90 - Consumo mensal de energia elétrica, por pessoa, para aquecer a água do banho – agrupamento 2 – Família com 5 pessoas. ....	201

Figura 91 - Consumo mensal de energia elétrica, por pessoa, para aquecer a água do banho – agrupamento 3 – Família com 4 pessoas e 1 bebê. ....	201
Figura 92 - Consumo mensal de energia elétrica, por pessoa, para aquecer a água do banho – agrupamento 4 – Família com 4 pessoas..	201
Figura 93 - Consumo mensal de energia elétrica, por pessoa, para aquecer a água do banho – agrupamento 5 – Família com 4 pessoas..	202
Figura 94 – Dispersão dos resultados mensais de consumo de energia elétrica, entre os cinco agrupamentos analisados, em cenário sem sistema de aquecimento solar. ....	203
Figura 95 - Dispersão dos resultados mensais de consumo de energia elétrica, entre os cinco agrupamentos analisados, em cenário com sistema de aquecimento solar. ....	203
Figura 96 - Consumo médio de energia elétrica, por pessoa, para aquecer a água do banho em unidades habitacionais do Residencial Vista Bela. ....	204
Figura 97 - Economia de energia, por pessoa, com o sistema de aquecimento solar. ....	205
Figura 98 - Economia de energia elétrica real e estimada com o uso eficiente do sistema de aquecimento solar. ....	207
Figura 99 - Participação do sistema de aquecimento de água no consumo total de energia elétrica, em média mensal. ....	209
Figura 100 - Consumo total de energia elétrica, por mês, nos cenários com e sem sistema de aquecimento solar e economia de energia - agrupamento 1. ....	210
Figura 101 - Consumo total de energia elétrica, por mês, nos cenários com e sem sistema de aquecimento solar e economia de energia - agrupamento 2. ....	211
Figura 102 - Consumo total de energia elétrica, por mês, nos cenários com e sem sistema de aquecimento solar e economia de energia - agrupamento 3. ....	211
Figura 103 - Consumo total de energia elétrica, por mês, nos cenários com e sem sistema de aquecimento solar e economia de energia - agrupamento 4. ....	212
Figura 104 - Consumo total de energia elétrica, por mês, nos cenários com e sem sistema de aquecimento solar e economia de energia - agrupamento 5. ....	213
Figura 105 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário sem solar, em dias úteis – janeiro de 2014. ....	214

Figura 106 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário com solar, em dias úteis – janeiro de 2014. ....	214
Figura 107 - Demanda média de energia elétrica para aquecer a água do banho em dias úteis – janeiro de 2014. ....	215
Figura 108 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário sem solar, em dias úteis – julho de 2013. ....	216
Figura 109 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário com solar, em dias úteis – julho de 2013. ....	216
Figura 110 - Demanda média de energia elétrica para aquecer a água do banho, em dias úteis – julho de 2013. ....	217
Figura 111 - Redução mensal na demanda máxima de pico, por agrupamento, em dias úteis – valores absolutos. ....	217
Figura 112 - Redução mensal na demanda máxima de pico, por agrupamento, em dias úteis – valores relativos. ....	219
Figura 113 - Fração solar mensal e anual, por agrupamento. ....	220
Figura 114 - Funcionamento da válvula anticongelamento: (a) medição de temperatura e irradiação solar, (b) de vazão de água, (c) de potência. Registro de banho em 24/07/2013, agrupamento 5. ....	246
Figura 115 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário sem solar – fevereiro de 2014. ....	247
Figura 116- Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário com solar – fevereiro de 2014. ....	247
Figura 117 - Demanda média de energia elétrica para aquecer a água do banho em dias úteis – fevereiro de 2014. ....	248
Figura 118 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário sem solar – março de 2014. ....	248
Figura 119 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário com solar – março de 2014. ....	248
Figura 120 - Demanda média de energia elétrica para aquecer a água do banho em dias úteis – março de 2014. ....	249
Figura 121 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário sem solar – abril de 2013. ....	249
Figura 122 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário com solar – abril de 2013. ....	249
Figura 123 - Demanda média de energia elétrica para aquecer a água do banho em dias úteis – abril de 2013. ....	250
Figura 124 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário sem solar – maio de 2013. ....	250

Figura 125 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário com solar – maio de 2013.....	250
Figura 126 - Demanda média de energia elétrica para aquecer a água do banho em dias úteis – maio de 2013.....	251
Figura 127 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário sem solar – junho de 2013. ....	251
Figura 128 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário com solar – junho de 2013.....	251
Figura 129 - Demanda média de energia elétrica para aquecer a água do banho em dias úteis – junho de 2013. ....	252
Figura 130 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário sem solar – agosto de 2013.....	252
Figura 131 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário com solar – agosto de 2013. ....	252
Figura 132 - Demanda média de energia elétrica para aquecer a água do banho em dias úteis – agosto de 2013. ....	253
Figura 133 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário sem solar – setembro de 2013.....	253
Figura 134 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário com solar – setembro de 2013. ....	253
Figura 135 - Demanda média de energia elétrica para aquecer a água do banho em dias úteis – setembro de 2013.....	254
Figura 136 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário sem solar – outubro de 2013.....	254
Figura 137 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, cenário com solar – outubro de 2013. ....	254
Figura 138 - Demanda média de energia elétrica para aquecer a água do banho em dias úteis – outubro de 2013. ....	255
Figura 139 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário sem solar – novembro de 2013.....	255
Figura 140 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário com solar – novembro de 2013.....	255
Figura 141 - Demanda média de energia elétrica para aquecer a água do banho em dias úteis – novembro de 2013. ....	256
Figura 142 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário sem solar – dezembro de 2013.....	256
Figura 143 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário com solar – dezembro de 2013.....	256
Figura 144 - Demanda média de energia elétrica para aquecer a água do banho em dias úteis – dezembro de 2013.....	257



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de potência elétrica média recomendada para a resistência elétrica no interior do reservatório térmico de sistema de aquecimento solar de água. ....	55
Tabela 2 - Consumo médio mensal de energia em habitações de interesse social em Contagem, Minas Gerais, antes e após a instalação de sistema de aquecimento solar. ....	74
Tabela 3 - Fatores de influência na economia de energia.....	102
Tabela 4 - Vazões de água fria e quente do chuveiro elétrico, medidas em unidades habitacionais do Residencial Vista Bela. ....	145
Tabela 5 - Erros de indicação para os sensores de corrente e tensão, após o período monitoramento em unidades habitacionais. ....	155
Tabela 6 – Características do coletor solar e sistema auxiliar de energia instalados nas cinco unidades habitacionais (A1, A2, A3, A4 e A5) do Residencial Vista Bela. ....	165
Tabela 7 – Caracterização das famílias do Residencial Vista Bela, representantes dos cinco subgrupos homogêneos. ....	166
Tabela 8 - Ações de banho e de funcionamento do sistema de aquecimento solar, detectados no monitoramento das unidades habitacionais.....	168
Tabela 9 – Temperatura média mensal de banho com o uso exclusivo do sistema de aquecimento solar. ....	181
Tabela 10 – Volume de água do reservatório térmico consumido para o funcionamento da válvula anticongelamento. ....	195
Tabela 11 – Resultados obtidos por meio da análise de agrupamento, na amostra de 200 unidades habitacionais e por agrupamento. ....	243



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>29</b>
1.1	OBJETIVOS.....	33
1.1.1	Objetivo Geral.....	33
1.1.2	Objetivos Específicos .....	33
1.2	DELINEAMENTO DO MÉTODO DE PESQUISA .....	33
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	34
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>37</b>
2.1	POLÍTICAS PÚBLICAS DE INCLUSÃO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL NO BRASIL.....	37
2.1.1	O sistema de aquecimento solar de água subsidiado .....	43
2.1.2	Quem são as famílias contempladas com o sistema?.....	47
2.1.3	Necessidade da medição .....	48
2.2	MEDIÇÃO DA ECONOMIA DE ENERGIA .....	49
2.3	MÉTODOS DE MEDIÇÃO EM SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA.....	53
2.3.1	Determinação dos objetivos e estimativas de economia de energia .....	53
2.3.2	Determinação da linha de base .....	56
2.3.3	Determinação dos níveis de monitoramento.....	58
2.3.4	Definição da amostra e extrapolação dos dados medidos.....	60
2.4	EXPERIÊNCIAS COM MEDIÇÃO DA ECONOMIA DE ENERGIA EM SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR.....	61
2.4.1	Estudos ligados ao <i>Florida Solar Energy Center (FSEC)</i> .....	61
2.4.2	Estudo ligado ao <i>National Renewable Energy Laboratory (NREL)</i> .....	67
2.4.3	Experiência no Canadá .....	69
2.4.4	Pesquisas na <i>Technical University of Denmark</i> .....	71
2.4.5	Projeto Sapucaias – Brasil .....	73
2.4.6	Projeto Buona Vita – Brasil .....	75
2.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	78
<b>3</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO E DAS CONDIÇÕES DE RADIAÇÃO SOLAR.....</b>	<b>81</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA.....	83

3.2	CARACTERIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR INCIDENTE NA REGIÃO .....	87
<b>4</b>	<b>AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE RESULTADOS DE ECONOMIA COM BASE NA TÉCNICA DE ANÁLISE DE AGRUPAMENTO .....</b>	<b>91</b>
4.1	INTRODUÇÃO .....	91
4.2	MÉTODO DE PESQUISA .....	92
4.2.1	Compreensão do contexto envolvido.....	92
4.2.2	Determinação de resultados estimados de economia de energia .....	96
4.2.3	Definição do conjunto de atributos.....	96
4.2.4	Pré-processamento dos dados .....	97
4.2.5	Processo de partição .....	98
4.3	RESULTADOS .....	101
4.3.1	Caracterização do contexto com base no conjunto de atributos .....	101
4.3.2	Subgrupos homogêneos.....	110
4.3.3	Resultados de economia de energia.....	113
<b>5</b>	<b>PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO EM SUBGRUPOS HOMOGÊNEOS .....</b>	<b>121</b>
5.1	INTRODUÇÃO .....	121
5.2	MÉTODO DE PESQUISA .....	122
5.2.1	Composição do sistema de medição .....	122
5.2.1.1	Sensores de Temperatura.....	126
5.2.1.2	Sensores de corrente alternada e tensão.....	127
5.2.1.3	Hidrômetros pulsados.....	128
5.2.1.4	Piranômetro .....	129
5.2.1.5	Sistema de aquisição e transferência remota dos dados .....	130
5.2.2	Medições piloto, verificações e calibrações em laboratório .....	133
5.2.3	Escolha das famílias e instalação do experimento nas unidades .....	139
5.3	RESULTADOS .....	140
5.3.1	Medições piloto .....	140
5.3.2	Instalação dos equipamentos de medição .....	144
5.3.3	Monitoramento em tempo real e erros detectados.....	150
5.3.4	Calibrações em laboratório.....	153
5.3.5	Caracterização das famílias e unidades de medição .....	158

5.3.5.1 Representante A1 – Baixo potencial de economia de energia .....	159
5.3.5.2 Representante A2 – Sem potencial de economia de energia .....	160
5.3.5.3 Representante A3 – Bom potencial de economia de energia .....	161
5.3.5.4 Representante A4 – Economia de energia desconhecida.....	163
5.3.5.5 Representante A5 – Bom potencial de economia de energia .....	164

<b>6 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USUÁRIO NOS RESULTADOS DE ECONOMIA .....</b>	<b>167</b>
6.1 INTRODUÇÃO.....	167
6.2 MÉTODO DE PESQUISA.....	167
6.2.1 Procedimento para identificar ações de uso e funcionamento do sistema de aquecimento solar .....	167
6.2.2 Determinação da linha de base e de resultados de economia .....	170
6.2.2.1 Consumo de energia elétrica nos cenários com e sem sistema de aquecimento solar.....	172
6.2.2.2 Economia de energia com o sistema de aquecimento solar .....	174
6.2.2.3 Participação do sistema no consumo total de energia nos cenários com e sem sistema de aquecimento solar.....	175
6.2.2.4 Demanda de energia elétrica nos cenários com e sem sistema de aquecimento solar.....	175
6.2.2.5 Redução na demanda máxima de pico.....	177
6.2.2.6 Fração solar anual .....	177
6.3 RESULTADOS .....	178
6.3.1 Domínio para mistura da água quente .....	178
6.3.2 Eficiência no uso do sistema auxiliar de aquecimento.....	183
6.3.2.1 Aproveitamento da água pré-aquecida.....	189
6.3.3 Consumo de água quente do reservatório térmico .....	193
6.3.3.1 Consumo de água para funcionamento da válvula anticongelamento .....	194
6.3.4 Linha de base .....	195
6.3.4.1 Temperaturas mensais de banho e de água fria.....	195
6.3.4.2 Potência média mensal do chuveiro elétrico.....	197
6.3.5 Análise do consumo de energia nos cenários sem e com sistema de aquecimento solar .....	199

6.3.6	Análise da economia de energia com uso do sistema de aquecimento solar .....	204
6.3.6.1	Estimativa de economia com o uso eficiente do sistema.....	206
6.3.7	Participação do sistema de aquecimento de água no consumo total de energia.....	208
6.3.8	Análise da demanda de energia elétrica nos cenários sem e com sistema de aquecimento solar .....	213
6.3.8.1	Reduções na demanda máxima de pico .....	217
6.3.9	Fração solar .....	219
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>221</b>
7.1	LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	225
7.2	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS .....	226
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>229</b>
	<b>APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO APLICADO NO RESIDENCIAL VISTA BELA .....</b>	<b>239</b>
	<b>APÊNDICE B - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO – TCLE.....</b>	<b>241</b>
	<b>APÊNDICE C - RESULTADOS DA ANÁLISE DE AGRUPAMENTO.....</b>	<b>243</b>
	<b>APÊNDICE D - FUNCIONAMENTO DA VÁLVULA ANTICONGELAMENTO.....</b>	<b>245</b>
	<b>APÊNDICE E – RESULTADOS MENSAIS DE DEMANDA DE ENERGIA EM UNIDADES HABITACIONAIS MONITORADAS.....</b>	<b>247</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Sistemas domésticos de aquecimento solar de água têm sido amplamente utilizados em todo o mundo. Talvez seja a aplicação mais popular da tecnologia solar (KALOGIROU, 2013). Desde que o primeiro sistema de aquecimento solar foi comercializado em 1891 (ISLAM; SUMATHY; KHAN, 2013) até o ano de 2011, mais de 200 milhões de habitações vêm utilizando coletores solares para aquecer a água, segundo *Renewable Energy Policy Network* (2012). Neste contexto, destacam-se as políticas públicas de inclusão das tecnologias de energia renovável, as quais contribuem para a grande difusão dos sistemas de aquecimento solar de água. De acordo com Roulleau e Lloyd (2008), Chang et al. (2011) e Kalogirou (2003), sistemas de aquecimento solar têm sido subsidiados em muitos países como Áustria, Alemanha, Suíça, Holanda, Austrália, Taiwan e Chipre.

Nesta discussão se insere a política brasileira de fomento de sistemas de aquecimento solar destinados às habitações de interesse social. A grande disponibilidade de radiação solar, com mais de 2000 kWh/m<sup>2</sup> de irradiação solar direta na maioria do território brasileiro (MARTINS; ABREU; PEREIRA, 2012), configura o bom potencial do país para a aplicação da energia solar. A tecnologia já bem desenvolvida no país (PEREIRA et al. 2011) aliada às experiências bem sucedidas em habitações de interesse social (FANTINELLI, 2006), nortearam a obrigatoriedade da inclusão de sistemas de aquecimento solar de água em todas as novas habitações unifamiliares de baixa renda financiadas pelo programa brasileiro Minha Casa, Minha Vida (BRASIL, 2011b). Da mesma forma, o programa de eficiência energética coordenado pela Agência Nacional de Energia Elétrica, por meio de ações das concessionárias de energia elétrica, com base na lei 9.991 (BRASIL, 2000a), vem contribuindo para a subvenção de sistemas de aquecimento solar em habitações de interesse social do Brasil.

A relevância da inclusão da tecnologia por meio de políticas públicas brasileiras pode ser destacada pelo benefício não somente ao usuário final, mas também ao sistema elétrico nacional. O benefício direto é a redução da conta mensal de energia elétrica, permitindo a transferência do recurso economizado para outras necessidades da família. Quanto aos benefícios para o país, uma vez que os chuveiros elétricos encontram-se predominantemente nas habitações de interesse social, sua substituição pelo sistema de aquecimento solar favorece a redução na demanda de pico. Com isso, se reduz a demanda de energia proveniente das usinas termelétricas e investimentos na expansão de

sistemas de distribuição e transmissão (NASPOLINI; RÜTHER, 2011). A Empresa de Pesquisa Energética - EPE também ressalta estes benefícios e com base nos dados divulgados em ABRAVA (2014c) estima que de 2014 a 2022, os coletores instalados nas unidades habitacionais do programa Minha Casa, Minha Vida, evitarão a necessidade de gerar 6,3 TWh de energia elétrica.

As ações de inclusão do sistema de aquecimento solar por meio de políticas públicas já beneficiaram mais de 300.000 famílias de baixa renda, de acordo com os dados divulgados por Benevides (2014) e ANEEL (2014). Embora o fomento seja de grande importância para a efetiva difusão da tecnologia termossolar (KALOGIROU, 2003; CHANG et al., 2011), não se sabe o real desempenho do sistema em uso e se este desempenho é afetado pelo comportamento do usuário em um contexto habitacional composto por muitos problemas sociais e econômicos.

É comum, em um empreendimento, centenas de habitações serem beneficiadas com o sistema. Este tipo de inclusão caracteriza-se por múltiplos sistemas de pequeno porte, inseridos em unidades idênticas, porém destinadas a variadas composições familiares de baixa renda. Assim, embora o sistema seja padronizado, a população que recebe a tecnologia não é homogênea. Apresenta grandes variações no consumo de energia e nos aspectos socioeconômicos.

Portanto, o contexto que envolve as habitações de interesse social é complexo e diversificado, e seu entendimento é extremamente pertinente nos estudos de economia de energia. Entende-se o sistema de aquecimento solar como uma medida de eficiência energética e como tal, os resultados de economia de energia precisam ser comprovados. Entretanto, estimativas de economia obtidas por simulações podem não traduzir o que realmente vem ocorrendo na prática. Isso porque a forma como o usuário se apropria da edificação e das tecnologias instaladas influencia significativamente no consumo de energia, já ressaltado em muitos estudos como em Polinder e Aa (2011), Yu et al. (2011), Stevenson e Leaman (2010), Gram-Hanssen (2010), Brohus et al. (2009), Santin, Itard e Visscher (2009), Barr, Gilg e Ford (2005), Parker (2003). Gram-Hanssen (2010) cita que os usuários podem consumir três vezes ou mais energia para aquecimento do que seus vizinhos, mesmo vivendo em habitações idênticas.

Diante disso, a **hipótese** levantada neste estudo é que o usuário de baixa renda influencia significativamente na economia de energia obtida por meio do uso de sistema de aquecimento solar. Sendo assim, os

fatores de influência precisam ser compreendidos e inter-relacionados aos estudos de economia de energia.

Nesta pesquisa, entendem-se como fatores de influência do usuário todos aqueles que interferem no uso do sistema, englobando:

- (a) Fatores sociais e econômicos como a renda familiar, grau de escolaridade, composição da família;
- (b) Aspectos comportamentais como rotinas de uso do sistema, gerenciamento, domínio para mistura da água, tempo de banho;
- (c) Aspectos específicos do contexto de análise.

Norteados pela necessidade do entendimento de como as pessoas de fato utilizam o sistema, tem-se como **questão geral de pesquisa**: Como o usuário de baixa renda influencia na economia de energia obtida por meio do sistema de aquecimento solar?

A medição se insere neste cenário como uma estratégia de pesquisa na busca pelo entendimento de como as pessoas utilizam o sistema de aquecimento solar e se o mesmo oferece economia e benefícios ao usuário e ao país. E como medir diante de um contexto tão diversificado? Como os fatores de influência afetam a economia? Qual a economia de energia proporcionada pelo sistema?

Hernandez e Kenny (2012) citam que é frequente a disseminação de estudos que demonstram o potencial de sistemas de aquecimento solar de água na redução do consumo de energia em residências. Entretanto, o real desempenho dos sistemas instalados e em uso é raramente relatado. Da mesma forma, poucos estudos focam na economia de energia proporcionada pelo sistema de aquecimento solar devido à complexidade na realização de medições de todas as variáveis envolvidas antes e depois da sua instalação (THUR; FURBO; SHAH, 2006; FURBO et al., 2011).

De uma maneira geral, estudos de medição e verificação (M&V) da economia de energia concentram-se na avaliação de sistemas isolados e de maior porte, com base no Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Desempenho (EVO, 2012). Medições em sistemas de uso doméstico aplicados em larga escala podem ser obtidas em Walker, Christensen e Yanagi (2003) e Parker (2003), com base em uma amostra estatisticamente significativa e linhas de base estruturadas nos estudos de Christensen e Burch (1994). Porém, estudos de medição em múltiplos e compactos sistemas subsidiados em novos empreendimentos de habitação de interesse social não são comuns, tampouco são

mencionados nas boas práticas estabelecidas no Protocolo Internacional para Tecnologias de Energias Renováveis (EVO, 2003).

A Agência Nacional de Energia Elétrica, por meio do procedimento do programa de eficiência energética - PROPEE (ANEEL, 2013) ressalta que as medições de economia, no âmbito das habitações de interesse social, devem considerar a variabilidade socioeconômica existente no contexto. Entretanto, o documento não fornece procedimentos para incorporação deste requisito. Neste âmbito, uma importante característica deve ser considerada quanto à definição de uma amostra. Não se pode definir uma amostra estatisticamente significativa baseada em um grande grupo homogêneo porque os resultados médios obtidos poderão não caracterizar todo o universo de análise. Subgrupos homogêneos devem ser identificados de modo que se possa reduzir a variabilidade existente e obter resultados mais precisos de economia.

A técnica de M&V tem sido aplicada pelas concessionárias de energia em resposta a exigência da aplicação de recursos em projetos de eficiência energética e a obrigação em comprovar resultados de eficiência energética. Entretanto, conhecer apenas resultados de economia não pressupõe o entendimento de que o sistema está funcionando como o esperado e de que as pessoas estão usando corretamente. Não permite identificar as barreiras e oportunidades da inclusão do sistema nas vidas das pessoas e se de fato a tecnologia garante o conforto esperado. No atual contexto onde a tecnologia é instalada em larga escala, é preciso aplicar uma técnica de medição para entender os problemas, como as pessoas incorporam o sistema na sua rotina de banho, e aperfeiçoá-lo para que o investimento, oriundo de uma política pública, seja implementado de maneira eficiente para a população de baixa renda brasileira.

Faz-se necessário, portanto, desenvolver um procedimento metodológico de medição investigativa e detalhada, que permita analisar a influência do usuário na economia de energia.

A principal contribuição deste trabalho consiste em aprofundar os estudos ligados ao desempenho do sistema de aquecimento solar em uso e demonstrar que os resultados de economia de energia não podem estar dissociados dos fatores socioeconômicos e comportamentais dos usuários. Este enfoque deve ser dado principalmente quando se avalia uma tecnologia subsidiada por meio de um programa de governo, em larga escala, em um contexto de grande variabilidade. Para isso, esta análise envolveu a integração de estudos na engenharia e ciências sociais, para compreender o fenômeno ligado ao uso do sistema de

aquecimento solar pelos usuários. O ineditismo deste estudo consiste em determinar resultados de economia de energia por meio de uma metodologia que integra uma abordagem social e qualitativa a uma abordagem técnica e quantitativa. Neste sentido, obtém-se a interface entre o usuário e a tecnologia nos estudos de economia de energia.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar a influência do usuário de baixa renda na economia de energia obtida por meio do uso de sistema de aquecimento solar de água.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Para atender ao objetivo proposto definem-se os seguintes objetivos específicos a serem alcançados ao longo do trabalho:

- (a) Determinar um procedimento para reduzir a variabilidade da amostra em conjuntos habitacionais nos estudos com medição;
- (b) Determinar um procedimento de medição para avaliação da economia de energia em sistemas de aquecimento solar instalados em novas habitações de interesse social;
- (c) Identificar quais e como os fatores de influência afetam os resultados de economia de energia;
- (d) Determinar resultados de economia de energia e de redução na demanda de pico.

## 1.2 DELINEAMENTO DO MÉTODO DE PESQUISA

Para atingir os objetivos do estudo, os procedimentos metodológicos adotados em um estudo de caso compreendem duas abordagens, sendo uma delas social, voltada para o usuário, e a outra técnica, voltada para a tecnologia. Ao longo do estudo, as abordagens se inter-relacionam visando compreender como os fatores de influência afetam a economia de energia. Para entender como as pessoas utilizam o sistema de aquecimento solar e a relação entre os fatores comportamentais e os resultados de economia, a análise qualitativa baseada em entrevistas com usuários foi combinada com técnicas de monitoramento não instrumentado. A articulação entre os resultados

quantitativos e quantitativos ocorreu por meio da técnica de análise de agrupamento, uma técnica de análise multivariada de dados. Nesta técnica, utilizou-se o procedimento de K-médias para a obtenção de subgrupos homogêneos. A redução da variabilidade na amostra possibilitou a investigação de resultados de economia em representantes de subgrupos homogêneos por meio da medição detalhada do sistema de aquecimento solar em uso. O conjunto de equipamentos de medição foi previamente verificado em laboratório e em campo. As características e posicionamento dos sensores nas unidades habitacionais permitiram compreender hábitos de utilização e a mensurar resultados de economia. O monitoramento instrumentado foi realizado ao longo de um ano com dados disponibilizados em tempo real pela internet. A calibração dos equipamentos de medição foi realizada após o período de monitoramento permitindo verificar as condições dos sensores e assegurar os resultados obtidos.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em sete capítulos. O primeiro capítulo aborda uma introdução sobre o tema, caracterizando os problemas envolvidos no estudo e os objetivos a serem alcançados.

O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica com enfoque inicial para as políticas de fomento do sistema de aquecimento solar de água em habitações de interesse social no Brasil. Posteriormente, abordam-se os estudos ligados à medição da economia de energia. Experiências internacionais com medições direcionadas aos sistemas de aquecimento solar são descritas, assim como os estudos brasileiros já desenvolvidos.

O terceiro capítulo compreende a caracterização do objeto de estudo e das condições de radiação solar. Inicialmente, apresenta-se o estudo de caso desenvolvido, com suas principais características e particularidades. Posteriormente, descreve-se o sistema de aquecimento solar analisado e as condições de exposição à radiação solar na região de análise.

O método de pesquisa e os resultados obtidos estão subdivididos entre os capítulos quatro, cinco e seis. A subdivisão foi necessária porque os resultados de cada etapa de pesquisa alimentaram as etapas seguintes.

O quarto capítulo apresenta uma avaliação preliminar da economia de energia com base na técnica de análise de agrupamento. O capítulo compreende o método adotado tanto para a realização da

avaliação qualitativa, monitoramento não instrumentado, e aplicação da técnica de análise de agrupamento. Na sequência, os resultados obtidos na avaliação preliminar são expostos elencando um conjunto de fatores que influenciam nos resultados de economia de energia e identificando subgrupos homogêneos no que se refere aos aspectos sociais, econômicos e comportamentais.

O quinto capítulo apresenta os procedimentos de medição em subgrupos homogêneos. O capítulo compreende o método adotado para a realização das medições. Nesta etapa são apresentados os equipamentos, suas principais características, seu posicionamento, além dos procedimentos de verificação e calibração realizados em laboratório. Medições piloto para testes iniciais com os equipamentos são relatadas assim como os procedimentos para a escolha das unidades representantes dos subgrupos homogêneos a serem monitoradas. Os resultados apresentados dirigem-se aos erros obtidos em laboratório, às definições obtidas nas medições piloto, à caracterização das famílias escolhidas e instalação final dos equipamentos nas respectivas unidades habitacionais.

O sexto capítulo compreende a análise da influência do usuário na economia de energia. No capítulo, descreve-se o método adotado para a identificação das ações de uso do sistema de aquecimento solar pelos usuários. Descrevem-se também os procedimentos adotados para definição da linha de base e de determinação de dados de consumo, economia e demanda de energia, além da fração solar. Os resultados finais obtidos por meio do monitoramento ao longo de um ano são apresentados buscando uma interface entre o usuário e a economia de energia.

No sétimo e último capítulo apresentam-se as conclusões obtidas com base nos resultados apresentados nos capítulos quatro, cinco e seis. Apresentam-se também as limitações e sugestões para futuros trabalhos.



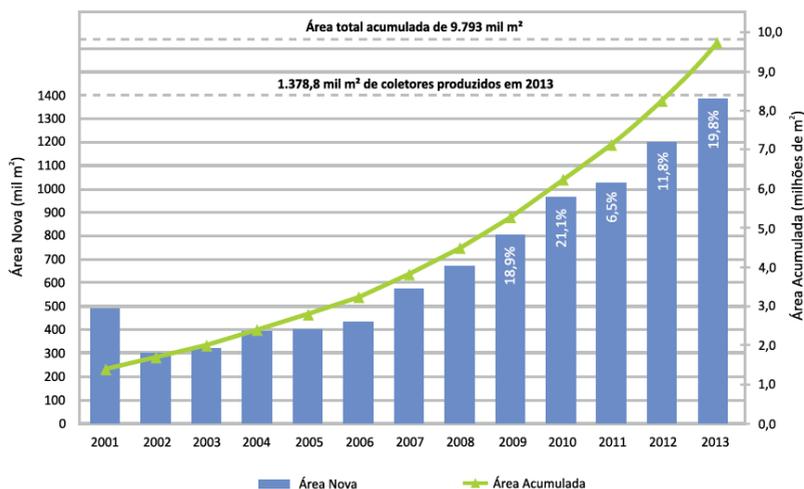
## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 POLÍTICAS PÚBLICAS DE INCLUSÃO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL NO BRASIL

O uso de sistemas de aquecimento solar de água vem crescendo significativamente. Em nível mundial, a capacidade global instalada de energia solar térmica para aquecimento de água chegou a 325,9 GW<sub>th</sub> (*RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK*, 2014), ou 465,6 milhões de metros quadrados de coletores solar<sup>1</sup>. Os cinco países que assumem o topo em capacidade instalada são China, Estados Unidos, Alemanha, Turquia e, na quinta posição, o Brasil.

Segundo a Associação Brasileira de Refrigeração, Aquecimento e Ventilação (ABRAVA, 2014a), ao longo de seis anos o mercado brasileiro de aquecimento solar mais do que dobrou, obtendo no ano de 2013 quase 1 GW<sub>th</sub> de potência térmica instalada, e um total acumulado próximo de 7 GW<sub>th</sub>. O montante corresponde a quase 9,8 milhões de metros quadrados de coletor solar, conforme é demonstrado na Figura 1.

Figura 1 - Evolução da capacidade instalada de coletor solar no Brasil.

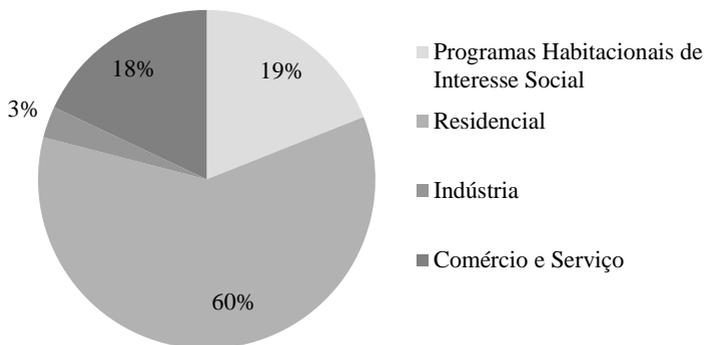


Fonte: ABRAVA (2014a).

<sup>1</sup> A Agência Internacional de Energia estabelece que para cada m<sup>2</sup>, tem-se 0,7 kW<sub>th</sub> de potência nominal térmica.

O aumento da produção brasileira de sistemas de aquecimento solar pode ser atribuído, em parte, às políticas públicas de subsídio da tecnologia em habitações destinadas às famílias de baixa renda. Nos últimos anos, o avanço significativo da tecnologia em habitações de interesse social ocorreu devido a duas linhas de fomento ligadas às políticas públicas: uma corresponde ao Programa de Eficiência Energética das concessionárias de distribuição de energia elétrica coordenados pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, e outra devido ao programa habitacional brasileiro “Minha Casa, Minha Vida”. Tais programas foram responsáveis por 19% da produção de sistema de aquecimento solar no país, como é demonstrado na Figura 2.

Figura 2 – Participação da produção de sistema de aquecimento solar por setor, no Brasil.



Fonte: Adaptado de ABRAVA (2014b).

No Brasil, de acordo com a lei 9.991 (BRASIL, 2000a), é obrigatório que as empresas distribuidoras de energia elétrica invistam anualmente 0,5% da receita operacional líquida em ações de eficiência energética. Do total de investimento, 60% devem ser destinados aos consumidores que recebem subsídio na tarifa de energia elétrica (BRASIL, 2010). Dentre as ações abordadas no documento “Procedimentos do Programa de Eficiência Energética” – PROPEE (ANEEL, 2013), está a substituição de chuveiros elétricos por sistemas de aquecimento solar de água. O subsídio para inclusão da tecnologia em habitações de interesse social é integral para o usuário de baixa renda, isto é, a tecnologia é doada para as famílias. Porém, as concessionárias de energia elétrica devem comprovar resultados de economia de energia após a sua inserção. O sistema de aquecimento

solar de água doado deve ser de pequeno porte, composto por reservatório térmico de até 200 litros. No âmbito do programa, os componentes do sistema devem ser etiquetados pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do INMETRO.

Em paralelo à atuação das concessionárias de energia elétrica tem-se o programa habitacional “Minha Casa, Minha Vida”, criado em 2009 pelo governo federal. O programa utiliza recursos provenientes do Orçamento Geral da União depositados no Fundo de Desenvolvimento Social – FDS para o financiamento das unidades habitacionais. Em 2011, o programa iniciou sua segunda fase com a inclusão obrigatória do sistema de aquecimento solar em todas as novas habitações unifamiliares destinadas às famílias com renda mensal de até R\$ 1.600,00 (um mil e seiscentos reais) (BRASIL, 2011b). O programa estabelece o financiamento de até R\$76.000,00<sup>2</sup> (setenta e seis mil reais) para a construção da moradia sendo R\$ 2.000,00 (dois mil reais) destinados à inclusão do sistema de aquecimento solar. O valor da prestação mensal a ser paga pelas famílias, por um período de cinco anos, corresponde a 5% da renda bruta familiar mensal ou R\$ 25,00 (vinte e cinco reais), assumindo o maior valor.

A iniciativa histórica de inclusão do sistema de aquecimento solar em todos os novos conjuntos habitacionais compostos por unidades unifamiliares ocorreu com base no Plano Nacional de Mudanças do Clima (BRASIL, 2008). O documento apresenta a meta de se atingir 15 milhões de metros quadrados de área instalada de coletores solares para aquecimento de água até 2015. Para isso, foi criado um grupo de trabalho nomeado GT-Sol, coordenado pela Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental do Ministério do Meio Ambiente, com o objetivo de acompanhar a introdução do sistema dentro do programa habitacional (PEREIRA et al., 2011). Em 2010, através de projetos piloto desta iniciativa, 41.449 habitações receberam o sistema, dentro da primeira fase do programa Minha Casa, Minha Vida (Figura 3).

---

2 Valor do financiamento varia por município e número de habitantes. No Paraná, o valor repassado para a construção da unidade habitacional com sistema de aquecimento solar é de R\$ 60.000,00 (sessenta mil reais).

Figura 3 - Habitações entregues na primeira fase do programa Minha Casa, Minha Vida.



Fonte: Pereira et al. (2011).

Como orientação técnica para a sua inclusão, o GT-Sol elaborou um termo de referência (BRASIL, 2011a), atualizado na segunda fase do programa, com especificações de dimensionamento e instalações, padronizados para todas as famílias atendidas pelo programa.

De 2009 a julho de 2014, 217.863 famílias de baixa renda foram beneficiadas com sistema de aquecimento solar<sup>3</sup> através do programa Minha Casa, Minha Vida (BENEVIDES, 2014) por meio de subsídio concedido pelo governo federal. Da mesma forma, as ações ligadas ao programa de eficiência energética, coordenado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (com base na lei 9.991), beneficiaram 94.486 famílias de baixa renda, de 2008 a outubro de 2014 (ANEEL, 2014) por meio da doação do sistema.

De acordo com Roulleau e Lloyd (2008), Chang et al. (2011) e Kalogirou (2003), sistemas de aquecimento solar têm sido subsidiados em muitos países como Áustria, Alemanha, Suíça, Holanda, Austrália,

---

<sup>3</sup> 41.449 correspondentes à primeira fase do programa Minha Casa, Minha Vida.

Taiwan e Chipre. Todavia, a forma como o subsídio é distribuído pode levar a diferentes resultados.

Roulleau e Lloyd (2008) definem dois tipos mais comuns de política de inclusão do sistema de aquecimento solar por meio de subsídios:

- (a) Subsídio relacionado à área de coletores e;
- (b) Subsídio relacionado aos resultados de desempenho.

Segundo os autores, o subsídio relacionado à área de coletores tem obtido bons resultados em termos de aumento da penetração dos sistemas de aquecimento solar. Entretanto, o aumento do número de coletores solares não indica que uma redução na demanda de energia prevista foi obtida, tampouco se as reais economias de energia foram alcançadas. Já o subsídio relacionado aos resultados de desempenho pressupõe o cálculo da energia entregue pelo sistema em kWh que, segundo os autores, normalmente é feito por meio de software de simulação.

A meta de se atingir, no ano de 2015, 15 milhões de metros quadrados de coletores solares caracteriza uma política de subsídio relacionada à área de coletores. Segundo Roulleau e Lloyd (2008) é um regime de subsídio com foco na expansão do número de sistemas, mas não garante que o mesmo esteja funcionando como o esperado ou reduzindo o consumo de energia nacional.

Medições da economia de energia proporcionada pelos sistemas de aquecimento solar oriundos do programa Minha Casa, Minha Vida não são exigidas. Entretanto, estudos qualitativos, por meio de entrevistas com usuários, foram conduzidos pelo governo federal com o apoio de pesquisadores do Centro Universitário UNA. O estudo teve como objetivo avaliar a satisfação do usuário e percepção de economia com o sistema de aquecimento solar recebido através do programa Minha Casa, Minha Vida. As entrevistas foram realizadas em 2012, com 299 famílias das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste (BENEVIDES, 2014) e em 2014, com 189 famílias das regiões do Norte e Nordeste (ABRAVA, 2014d). Em Benevides (2014) sabe-se que 80% dos usuários entrevistados em 2012 se declararam muito satisfeitos ou satisfeitos com a tecnologia. Dentre os principais problemas relatados tem-se que:

- (a) a água é muito quente;
- (b) o valor da conta de energia não mudou;

(c) é difícil misturar a água do banho.

Já na pesquisa realizada em 2014, nas regiões Norte e Nordeste, sabe-se que 76,7% dos entrevistados estão muito satisfeitos ou satisfeitos com o sistema de aquecimento solar. Entretanto, a satisfação está mais vinculada ao conforto que a tecnologia oferece do que com a economia de energia proporcionada, uma vez que 67,7% dos entrevistados não possuíam sistema de aquecimento de água (ABRAVA, 2014d).

Tal pesquisa, de caráter qualitativo, forneceu dados de satisfação e percepção da economia. Entretanto, medições ou inspeções técnicas não fazem parte das metas do programa. Com base na experiência anterior com o projeto Sapucaias (PEREIRA et al, 2003) (ver item 2.4.5) em Minas Gerais, a estimativa de economia, disseminada no programa Minha Casa, Minha Vida, é de 38% no consumo de energia total, quando substituído o chuveiro elétrico pelo sistema de aquecimento solar de água.

Em relação ao programa de eficiência energética, coordenado pela Agência Nacional de Energia Elétrica, a forma de subsídio estabelecida baseia-se em resultados de desempenho. As concessionárias subsidiam a instalação do sistema de aquecimento solar em habitações de interesse social. Entretanto, precisam comprovar resultados de economia de energia e reduções na demanda de pico. Embora seja um programa baseado em resultados de desempenho, as medições ocorrem em grandes amostras devido ao grande número de unidades habitacionais atendidas. Com isso, as medições ficam restritas ao sistema auxiliar de aquecimento, e realizadas em um curto período de tempo. Os resultados das medições não são disseminados e não é o objetivo das concessionárias compreender se as pessoas estão utilizando corretamente o sistema.

Um estudo de análise da satisfação do usuário pode ser destacado em Madeira (2013) em habitações de interesse social contempladas com sistema de aquecimento solar, no âmbito do programa de eficiência energética da Agência Nacional de Energia Elétrica. O estudo foi realizado em um conjunto habitacional no município de Pindamonhangaba, São Paulo, entregue em 2008. As unidades habitacionais foram beneficiadas com sistema de aquecimento solar em 2011, fruto de uma parceria estabelecida entre a Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano (CDHU) e uma distribuidora de energia elétrica local.

Segundo Madeira (2013), a parceria entre a CDHU e concessionárias de energia deu origem ao projeto “Boa Energia Solar” e viabilizou a inclusão de 16 mil sistemas em conjuntos habitacionais no estado de São Paulo. A experiência descrita pelo autor indicou que dos 33 entrevistados, 54% mencionaram que o sistema de aquecimento solar apresentava problemas, dentre eles o fato da água não aquecer. O nível de satisfação com a tecnologia chegou a 63,3%. Segundo o autor, dois aspectos negativos nortearam os resultados de satisfação. Muitos coletores solares foram instalados na orientação Sudeste reduzindo a incidência da radiação solar e favorecendo o sombreamento do coletor solar pelo reservatório térmico. O segundo aspecto foi a instalação de um chuveiro inteligente que não permitia o acionamento da resistência elétrica quando a temperatura da água do reservatório térmico se encontrava maior do que 39°C. Desta forma, os usuários ficavam impossibilitados de tomar banhos mais quentes em dias frios. Com a identificação deste problema, em novos empreendimentos envolvendo as distribuidoras de energia, a temperatura mínima no reservatório térmico foi ajustada para 42°C, para o acionamento da resistência elétrica do chuveiro inteligente (MADEIRA, 2013).

Ressalta-se que os estudos que investigam o desempenho em uso de sistemas de aquecimento solar subsidiados em habitações de interesse social se restringem às avaliações de satisfação. Medições isoladas do sistema, quando realizadas, normalmente não são disseminadas.

### **2.1.1 O sistema de aquecimento solar de água subsidiado**

As habitações unifamiliares financiadas por meio do programa Minha Casa, Minha Vida devem receber, obrigatoriamente, um sistema de aquecimento solar com dimensionamento padronizado para todas as regiões do Brasil. Este deve estar em conformidade com as especificações definidas no termo de referência da Caixa Econômica Federal (BRASIL, 2011a).

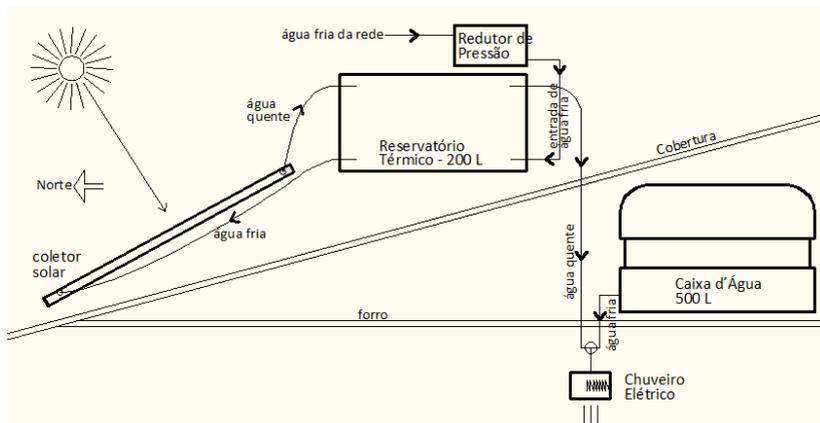
O sistema de aquecimento solar deve apresentar funcionamento em circuito direto, onde a água potável é aquecida diretamente pelo coletor solar (ABNT, 2008). A circulação natural (passiva), chamada de termossifão, deve ser adotada. Ela utiliza unicamente a mudança de densidade do fluido de trabalho para obter a circulação entre o coletor solar e o reservatório térmico (ABNT, 2008). As vantagens da circulação por termossifão é sua não dependência de bombas, além de ser um sistema seguro, e possuir vida útil mais longa do que os sistemas de circulação forçada (KALOGIROU, 2013). Segundo Souza e Abreu

(2009), é o sistema mais usado no Brasil por apresentar simplicidade e baixo custo de instalação e manutenção.

No âmbito do programa Minha Casa, Minha Vida, os coletores solares planos devem ser certificados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro, para a produção mensal de energia maior do que 150 kWh/mês nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste e, maior do que 120 kWh/mês nas regiões Norte e Nordeste. Suportes metálicos podem ser fixados na cobertura visando preservar a orientação dos coletores solares para o norte geográfico e garantir a sua inclinação conforme a latitude da cidade acrescida de 10 graus, de acordo com as recomendações da norma brasileira NBR 15569 (ABNT, 2008). Caso o desvio em relação ao norte seja maior do que  $\pm 30$  graus, deve-se aumentar a produção mensal de energia do coletor para até 180 kWh/mês, no caso das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. O coletor deve possuir vidro com espessura nominal igual ou superior a 3 mm, e caixa em alumínio, aço inoxidável, ou material resistente à corrosão.

O reservatório térmico deve também ser certificado pelo Inmetro, possuir volume de 200 litros e posicionar-se preferencialmente na horizontal, entre o forro e cobertura ou sobre a cobertura. O reservatório térmico posicionado entre o forro e cobertura favorece o seu melhor desempenho no que diz respeito à conservação do calor armazenado, uma vez que fica exposto às condições mais amenas de temperatura e ações do vento. Entretanto, a solução requer alterações de projeto para que o espaço entre o forro e a cobertura tenha dimensões suficientes para acomodação tanto do reservatório térmico quanto da caixa d'água. Necessita ainda manter uma distância apropriada em relação ao coletor solar e garantir o funcionamento por termossifão. Desta forma, o sistema convencional exige planejamento e investimento por parte das construtoras, o que muitas vezes dificulta a inclusão desta tipologia de sistema. Com isso, tipicamente, o sistema acoplado é a tipologia mais adotada nas habitações de interesse social do Brasil, conforme é demonstrado na Figura 4. Ela é composta por coletor solar, reservatório térmico e caixa redutora de pressão, montados em uma estrutura comum, sobre o telhado.

Figura 4 - Diagrama esquemático do sistema de aquecimento solar predominantemente adotado nas habitações de interesse social do Brasil, no âmbito do programa Minha Casa, Minha Vida e do Programa de Eficiência Energéticas da ANEEL.



Fonte: Adaptado de Kalogirou (2013) e de informações em BRASIL (2011a).

O abastecimento do reservatório térmico com água fria ocorre pela rede pública, passando antes por uma pequena caixa d'água, de volume útil mínimo de 10 litros, que atua como redutor de pressão. As tubulações de alimentação de água fria, de distribuição de água quente e de interligação entre coletor e reservatório térmico podem ser de material metálico, EPDM (abreviações de Etileno-propileno-dieno monômero) ou polimérico termo resistente. Todo o percurso de material metálico ou polimérico deve ser isolado com tubos flexíveis de polietileno de espessura de 10 mm ou material equivalente em resistência (BRASIL, 2011a).

O sistema anticongelamento mecânico deve ser previsto nas regiões localizadas nas zonas bioclimáticas<sup>4</sup> 1 e 2, e nas regiões localizadas na zona bioclimática 3 cuja temperatura mínima no inverno seja igual ou inferior a 2°C (BRASIL, 2011a). Isso porque a expansão da água e a formação interna de gelo podem romper os tubos do coletor solar e danificar o conjunto. As válvulas termomecânicas são as mais utilizadas em sistema por termossifão. Elas utilizam um elemento metálico sensível à variação de temperatura que libera a saída de água

<sup>4</sup> A classificação das diferentes regiões climáticas do Brasil é feita com base nas zonas bioclimáticas definidas na NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

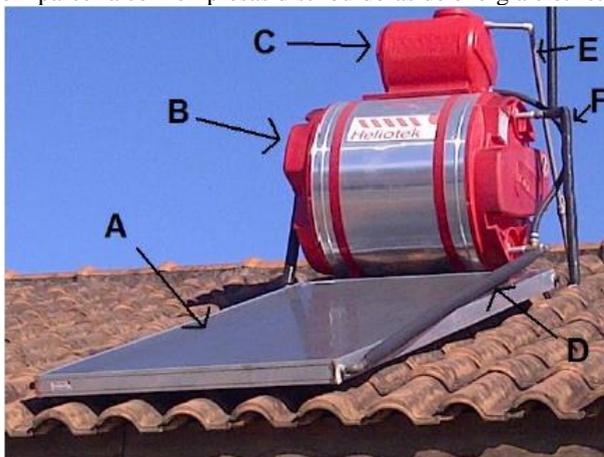
quando a temperatura atinge valor mínimo. A desvantagem é o desperdício da água liberada pela válvula (ABRAVA, 2014c).

O chuveiro elétrico, com potência nominal entre 4400 W e 4500 W, deve ser usado como sistema auxiliar de aquecimento, não existindo, portanto, no âmbito do programa habitacional, resistência elétrica no interior do reservatório térmico. Esta decisão permite que somente a água que passa pelo chuveiro elétrico seja aquecida, ao invés do volume todo do reservatório térmico. O chuveiro elétrico deverá ter certificação do Inmetro e possuir chave seletora com pelo menos três níveis de temperatura.

A mistura da água do banho deve ocorrer com o emprego de misturador embutido na parede por meio de conexão em “Y” (BRASIL, 2011a). Esta exigência foi incluída no termo de referência da segunda fase do programa Minha Casa, Minha Vida. Durante a primeira fase, a decisão pela inclusão do sistema de aquecimento solar ocorreu, em grande parte, quando as unidades habitacionais já estavam com a alvenaria rebocada, inviabilizando a instalação da tubulação de água quente embutida na alvenaria. Neste caso, empregou-se o misturador externo.

Assim como no programa Minha Casa, Minha Vida, as concessionárias de energia elétrica, no âmbito do programa de eficiência energética da ANEEL (BRASIL, 2000a), também adotam a mesma tipologia de sistema de aquecimento solar, posicionando todo o conjunto sobre a cobertura e minimizando intervenções nas unidades habitacionais. Exemplos podem ser encontrados no estado de São Paulo, onde algumas distribuidoras, em parceria com a Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano (CDHU), optam pela instalação de sistemas de aquecimento solar de água do tipo acoplado, conforme Figura 5. O sistema é composto pelo coletor solar de dois metros quadrados (A), reservatório térmico de 200 litros (B), caixa redutora de pressão de 20 litros (C), tubulações de interligação entre coletor e reservatório em cobre com isolamento térmico em polietileno (D), alimentação do sistema com água fria da rede externa de abastecimento (E), e tubulação de água quente para consumo, em cobre, também isolada (F). O uso do misturador externo é empregado nas instalações em unidades habitacionais já existentes.

Figura 5 - Exemplo de tipologia adotada em unidades habitacionais da CDHU em parceria com empresas distribuidoras de energia elétrica.



Fonte: Madeira (2013).

### 2.1.2 Quem são as famílias contempladas com o sistema?

A escolha das famílias contempladas com o sistema de aquecimento solar de água, no âmbito do programa Minha Casa, Minha Vida, está primeiramente ligada à faixa de renda salarial. Entretanto, o Ministério das Cidades estabelece critérios (BRASIL, 2011c) para que as Companhias de Habitações selecionem as famílias que receberão as unidades habitacionais. A escolha deve priorizar:

- (a) famílias que ocupam áreas de risco geológico como fundos de vales, moram em condições insalubres, ou que tenham sido desabrigadas;
- (b) famílias cuja mulher é responsável pela unidade habitacional;
- (c) famílias de que façam parte pessoas com necessidades especiais.

Atendendo ao Estatuto dos Idosos, deve-se ainda reservar no mínimo 3% das unidades habitacionais para idosos. No Brasil, cerca de 45 milhões de habitantes (IBGE, 2010) possui algum tipo de necessidade especial. Além disso, os idosos representam cerca de 10% da população brasileira. Com isso, é importante o estabelecimento de critérios que favoreçam a inclusão desta parcela da população nos programas habitacionais.

A população contemplada com o sistema de aquecimento solar carrega uma grande diversidade social, econômica e de histórico do uso da energia elétrica. As famílias são selecionadas pelas Companhias de Habitação e se apropriam da tecnologia sem muitas vezes conhecer seus benefícios e funcionamento. Uma variedade de composições familiares assume um mesmo padrão de sistema de aquecimento solar de água. Algumas famílias provenientes de ocupações irregulares são praticantes da ligação clandestina na rede de energia, não havendo portanto, o compromisso do pagamento da conta de energia elétrica na antiga moradia tampouco a vivência do impacto econômico após a apropriação da tecnologia. É comum nos assentamentos urbanos a utilização da lenha ou do fogão a gás para aquecer a água do banho. O baixo índice de escolaridade também é comum deste contexto.

Outra especificidade das famílias contempladas com o sistema de aquecimento solar é a existência do subsídio promovido nas tarifas mensais de energia elétrica e água. No Brasil, as concessionárias de energia devem promover descontos de 10% a 65% na conta de energia de usuários de baixa renda que estejam cadastrados em programas sociais do Governo Federal (BRASIL, 2010), enquanto que as concessionárias de água estabelecem parâmetros máximos de consumo para descontos na tarifa de água. Todos estes fatores atuam diretamente na forma de consumo de energia e água assim como no uso da tecnologia termossolar pela população de baixa renda.

### **2.1.3 Necessidade da medição**

A revisão de literatura abordada até aqui indicou que a produção de sistemas de aquecimento solar de água vem crescendo consideravelmente no país. Da mesma forma, o número de habitações de interesse social contempladas com sistema de aquecimento solar chega a um patamar expressivo. Estudos da Empresa de Pesquisa Energética demonstram em resposta às ações de inclusão do sistema no programa Minha Casa Minha Vida, projeções de economia de energia satisfatórias para o país. Entretanto, o contexto que envolve as habitações de interesse social é complexo e diversificado, e seu entendimento é extremamente pertinente nos estudos de economia de energia. Estimativas de economia podem não traduzir o que realmente vem ocorrendo na prática. Isso porque a forma como o usuário se apropria da tecnologia influencia significativamente no consumo de energia, já ressaltado em muitos estudos como em Polinder e Aa (2011), Yu et al (2011), Stevenson e Leaman (2010), Gram-Hanssen (2010),

Brohus et al (2009), Santin, Itard e Visscher (2009), Barr, Gilg e Ford (2005), Parker (2003). A medição se insere neste cenário na busca pelo entendimento de como as pessoas utilizam o sistema de aquecimento solar e se de fato ele oferece economia e benefícios ao usuário e ao país. E como medir diante de um contexto tão diversificado?

## 2.2 MEDIÇÃO DA ECONOMIA DE ENERGIA

O conhecimento do real impacto que ações de eficiência energética proporcionam na redução do consumo de energia em edificações pressupõe o emprego da estratégia de medição da economia de energia. Segundo ASHRAE 14 (2002), não existe uma forma direta de medir a economia de energia, uma vez que os instrumentos de medição não medem a ausência de energia. Entretanto, a ausência de energia pode ser calculada por meio da comparação do consumo de energia antes e após a introdução de uma ação de eficiência energética. O período que antecede a ação de eficiência energética é chamado de *baseline*, mencionado ao longo deste estudo como linha de base. EVO (2006) define a linha de base como um conjunto de condições de projeto, usos, operação e ocupação. Tal conjunto de condições caracteriza o modelo referencial para se estimar a economia de energia.

Segundo ASHRAE 14 (2002) a determinação da economia de energia requer uma análise de dados e suposições sobre como os fatores que afetam o uso da energia mudaram até a introdução da ação de eficiência energética. Tais fatores, nomeados como variáveis independentes, afetam o uso da energia, mas não podem ser controlados. As condições climáticas e a ocupação são exemplos de fatores que sempre mudam e afetam o uso da energia.

Medir a economia de energia é um desafio e requer uma metodologia específica (USA, 1996). A medição e verificação da economia de energia, conhecida internacionalmente por meio da sigla M&V (*measurement and verification*), surgiu como uma técnica desenvolvida para avaliar o impacto de uma ação de eficiência energética, ou uma alteração na edificação que serve como base para pagamentos ou cálculo de benefícios. Segundo ASHRAE *Handbook Applications* (2011) a prática de M&V é muito utilizada quando uma medida de *retrofit* é desempenhada a partir de um contrato de desempenho de economia de energia e se deseja verificar a economia de energia com precisão. Como a real economia de energia não pode ser medida, a apropriada metodologia deve assegurar que os dados necessários estejam disponíveis, incluindo dados de consumo anterior à

introdução de medidas de *retrofit*; definir com precisão as condições da linha de base; confirmar se os equipamentos e sistemas foram adequadamente instalados e que têm o potencial de gerar dados de economia de energia; proceder com medições pós-*retrofit*; e estimar a economia de energia obtida. A certeza absoluta dos dados não pode ser obtida, entretanto os erros podem ser minimizados utilizando equipamentos mais sofisticados assim como bons métodos de análise.

Para obtenção de resultados confiáveis de economia de energia e assim estimular a implementação de ações de eficiência energética, normas e protocolos direcionados à aplicação da metodologia de M&V em edificações vêm sendo atualizados desde 1996. Tais documentos estabelecem diretrizes gerais, nivelamento de conceitos e terminologias, e procedimentos gerais para elaboração de planos. São eles o *North American Energy measurement and verification Protocol* (USA, 1996), o *Federal Energy Management Program* (USA, 1998) destinado à avaliação de edifícios públicos federais, e ASHRAE 14 (2002), um guia de medição da economia de energia.

Em paralelo aos documentos de M&V, e buscando a padronização de conceitos, surge o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Desempenho (IPMVP) patrocinado pela *Efficiency Valuation Organization* – EVO (Organização de Avaliação de Eficiência). Teve sua primeira publicação em 1997 sendo constantemente atualizada (EVO, 2012) e com terminologias adequadas dentro do âmbito mundial para emprego da estratégia de M&V. Mais tarde, EVO complementa o protocolo com um documento específico para a determinação da economia de energia em tecnologias de energia renovável (EVO, 2003) e outro, com conceitos e práticas para determinação da economia de energia em novas edificações (EVO, 2006).

No protocolo internacional (EVO, 2012) define-se a estratégia de M&V como sendo o processo de empregar a medição para determinar, de forma confiável, reais economias de energia, água ou de custo, obtidas a partir de uma instalação por um programa de gestão. A economia de energia pode ser obtida segundo as condições de rotina do período de determinação da economia de energia, ou seja, período após a inclusão da ação de eficiência energética. Desta forma, a linha de base é ajustada de acordo com a rotina de uso e demais variações atribuídas ao período de determinação da economia de energia. Em novas edificações, o período da linha de base deve ser construído com base em informações descritas em normas, regulamentos, práticas usuais ou instalações similares (EVO, 2006).

Dentre os diversos objetivos mencionados no protocolo internacional (EVO, 2012) para aplicação da técnica de M&V destaca-se o dirigido a “apoiar a avaliação de programas de eficiência regionais”. A técnica de M&V contribui para o entendimento da economia de energia proporcionado por ações de eficiência energética, conduzidas tanto por programas governamentais como por empresas de energia.

Em nível mundial, os métodos de medição e verificação vêm ocupando um papel imprescindível na emissão do certificado de economia de energia, o chamado ESC (*Energy savings certificate*) (FRIEDMAN; BIRD, 2008; VINE; HAMRIN, 2008). Instituído compulsoriamente por alguns países da União Europeia, o certificado de economia de energia é um instrumento emitido por uma organização autorizada garantindo que uma específica quantidade de economia de energia foi obtida. Vine e Hamrin (2008) defendem o certificado de economia de energia como a principal ferramenta utilizada em políticas públicas de redução dos gases do efeito estufa.

Neste contexto, a medição vem sendo incorporada nos programas de certificação da economia de energia visando a obtenção de resultados confiáveis. Segundo Vine e Hamrin (2008) e Bertoldi, Rezessy e Urge (2005), os certificados são emitidos tanto com base em uma avaliação *ex ante* ou por meio de uma avaliação *ex post*. As avaliações são descritas a seguir:

(a) Avaliação *ex ante*, onde se estima resultados de economia para as tecnologias que já são bem conhecidas ou baseadas em estimativas de cálculos de engenharia padronizados;

(b) Avaliação com estimativas de cálculos de engenharia combinada com pequenas medições: aplicada em projetos de larga escala onde a economia de energia é conhecida, mas existe a variação de alguns parâmetros (por exemplo, horas de uso). Neste caso medem-se as horas de uso e estimam-se as economias por meio de cálculos;

(c) Avaliação com base em medições, ou Avaliação *ex post*. A economia de energia é quantificada com base na medição do consumo antes e depois da implementação da ação de eficiência energética. A abordagem é aplicada quando os resultados não são previsíveis devido às variações, por exemplo, climáticas e de ocupação.

Segundo Vine e Hamrin (2008), a Itália se destaca por adotar as abordagens de avaliação da economia nos três níveis. Porém, enquanto 75% dos certificados emitidos utilizaram a avaliação *ex ante*, somente

4% utilizaram a avaliação *ex post*, baseados em medição. Os autores destacam que a abordagem baseada em cálculos de engenharia se apoia em métodos internacionais que têm sido testados em campo ao longo de 25 anos. Já a avaliação *ex post* embora ofereça uma maior credibilidade nos resultados, apresenta-se de maior custo e com maior nível de dificuldade devido à complexidade da medição da linha de base. Bertoldi, Rezessy e Urge (2005) complementam que a aplicação da abordagem de medição *ex post* se justifica em grandes instalações. Já em projetos de pequeno porte a medição pode representar grandes custos.

No Brasil, a técnica de M&V é adotada pelas concessionárias de energia elétrica, no atendimento a lei nº 9.991, para o cumprimento do programa de eficiência energética coordenado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). O procedimento do Programa de Eficiência Energética – PROPEE da ANEEL (2013) é um guia dirigido às empresas concessionárias e permissionárias de energia elétrica, o qual estabelece que os resultados dos projetos de eficiência energética devem estar embasados no protocolo internacional da EVO (2012). O guia estabelece um método de cálculo das metas a serem atingidas em economia de energia e redução na demanda na ponta, representando a avaliação *ex ante*. Dentre as tipologias de projetos a serem contempladas (ANEEL, 2013) têm-se as unidades consumidoras de baixo poder aquisitivo, a partir da substituição de equipamentos ineficientes como lâmpadas, refrigeradores e chuveiros elétricos, instalação de sistemas de aquecimento solar de água, ou ações educacionais, como palestras, além de outros itens.

No âmbito do programa de eficiência energética da ANEEL, o projeto de M&V deve compreender, obrigatoriamente, duas avaliações dos resultados energéticos:

(a) Avaliação *ex ante*, estimando os resultados esperados com base no método de cálculo fornecido no PROPEE e;

(b) Avaliação *ex post*, feita por meio de medições tanto no período da linha de base como no período de determinação da economia de energia. Para esta avaliação, deve-se utilizar o protocolo internacional da EVO (2012).

## 2.3 MÉTODOS DE MEDIÇÃO EM SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA

A instalação de uma tecnologia de energia renovável em edificações é considerada uma ação de eficiência energética. Entretanto, ela se distingue das demais porque além de reduzir o consumo de energia, elas fornecem energia. Visando aprimorar a determinação da economia de energia proporcionada por tecnologias de energias renováveis, a EVO publicou em 2003 um guia voltado especificamente a elas. O guia compreende a parte II do volume III do protocolo internacional (EVO, 2003), porém se dirige às ações em edificações existentes. O item que se refere aos sistemas de energia solar térmica foi desenvolvido com base nos estudos de Cristensen e Burch (1994).

Cristensen e Burch (1994) estabelecem uma estrutura geral contendo as diferentes abordagens para a elaboração de planos de M&V em sistemas de aquecimento solar de água. Os autores desmembram o processo metodológico de uma M&V em quatro etapas sendo elas: definição dos objetivos, determinação da linha de base, determinação dos níveis de monitoramento e extrapolação para a população de interesse.

As quatro etapas definidas pelos autores serão descritas a seguir, sob o ponto de vista do protocolo Internacional (EVO, 2012) o qual estabelece recomendações genéricas; através do volume III do IPMVP, parte I (EVO, 2006) com enfoque para novas edificações e; parte II (EVO, 2003) com enfoque para energias renováveis. Neste último, exemplificam-se abordagens específicas para sistemas de aquecimento solar de água em unidades residenciais. Por fim, complementa-se este conteúdo com as recomendações de Souza e Abreu (2009) e do Procedimento do Programa de Eficiência Energética da ANEEL (2013) delineando o assunto dentro das especificidades dos sistemas de aquecimento solar em unidades habitacionais de interesse social.

### 2.3.1 Determinação dos objetivos e estimativas de economia de energia

Cristensen e Burch (1994) com base na *ASHRAE Handbook Applications* (2011), na versão mais antiga, citam que o planejamento do monitoramento deve ser estabelecido primeiramente a partir da definição dos objetivos do estudo: O que se deseja saber, e com que precisão os dados devem ser obtidos? Caso não se tenha uma abordagem consistente com o orçamento do projeto para alcançar os objetivos

desejados dentro de um nível determinado de precisão, tais objetivos deverão ser reformulados.

Os autores estabelecem cinco objetivos para monitoramento de sistemas de aquecimento solar de água. Tais objetivos focam, sobretudo, nos interesses das concessionárias de energia elétrica. São eles:

- (a) Estimar o impacto energético (kWh);
- (b) Estimar o impacto na demanda (kW);
- (c) Estimar o desempenho pós-ocupação: O objetivo é estimar o desempenho real e compará-lo com o desempenho previsto, anterior a instalação do sistema;
- (d) Estimar a persistência de economia de energia: É uma extensão do monitoramento de desempenho pós-ocupação, e o objetivo é estimar o desempenho, em longo prazo, de sistemas de aquecimento solar. A partir deste objetivo pode-se avaliar mudanças de comportamento de hábitos de consumo;
- (e) Validação do modelo: O objetivo é validar modelos de simulação computacional para predição da economia de energia e redução na demanda. Foca-se na validação de dados de entrada para sistemas específicos de aquecimento solar.

Uma particularidade das tecnologias de energia renovável é que elas são usadas a partir de um sistema de fornecimento de energia. Assim, a avaliação do seu desempenho pode estar direcionada para a medição da energia entregue ou para medição da economia de energia proporcionada (EVO, 2003). Tais enfoques devem ser bem definidos nos objetivos do plano de M&V, pois definem a necessidade ou não de uma linha de base.

A medição da energia fornecida por uma tecnologia de energia renovável é considerada pelo protocolo como uma medição direta. Ela é aplicada quando os objetivos do estudo se dirigem unicamente para o desempenho do sistema em uso. A medição da economia de energia proporcionada pela tecnologia é nomeada como medição indireta, e necessita de uma linha de base para a comparação do consumo obtido.

Quanto à determinação de estimativas de economia de energia, ou avaliação *ex ante*, o procedimento da ANEEL (2013) estabelece um método de cálculo para os sistemas de aquecimento solar de água com resistência elétrica no interior do reservatório térmico. Os parâmetros

Energia Economizada (MWh/ano) e Redução na Demanda de Pico (kW) são estimados com base nas equações 1 e 2.

$$EE = \frac{FS \times PC \times NB \times \left(\frac{T}{60}\right) \times 365 \times NR}{1.000.000} \quad (1)$$

$$RDP = \frac{NR \times NC \times (PC - P_{AUX}) \times FD}{1.000} \quad (2)$$

Onde:

EE – Energia Economizada (MWh/ano);

RDP – Redução de demanda na ponta (kW);

FS - fração solar a ser definida pela Concessionária;

PC - potência máxima típica dos chuveiros utilizados (W);

NB – nº médio de banhos por residência;

T - tempo médio de banho (min.);

NR - número de residências atendidas;

NC - número médio de chuveiros por residência;

PAUX - potência média do sistema auxiliar de aquecimento, por residência (W), (Tabela1);

FD - fator de coincidência na ponta. “Em caso de dificuldades na obtenção deste dado utilizar  $FD = 0,10$ ” (ANEEL, 2013).

Tabela 1 – Valores de potência elétrica média recomendada para a resistência elétrica no interior do reservatório térmico de sistema de aquecimento solar de água.

<b>Volume do Reservatório (Litros)</b>	<b>Potência Recomendada da Resistência (W)</b>
100	350-400
150	550-600
200	700-800
300	1000-1100
400	1350-1450

Fonte: ANEEL (2013)

Para o cálculo do fator de coincidência na ponta (FD) deve ser utilizada a equação 3.

$$FD = \frac{NBP \times T}{NC \times 180} \quad (3)$$

Onde:

FD – Fator de coincidência na ponta;

NBP – número médio de banhos por dia no horário de ponta, por unidade consumidora;

T – tempo médio de banho (min.) no horário de ponta;

NC – Número de chuveiros por unidade consumidora;

180 – minutos equivalente a 3 horas de ponta (entre 18:00 e 21:00 horas).

O cálculo da economia de energia requer conhecimento sobre o tempo médio de banho. Para o dimensionamento de sistemas de aquecimento solar de água a NBR 15569 (ABNT, 2008) sugere o tempo médio de banho de 10 minutos. Taborianski e Prado (2004) adotam tempo de banho de 7 minutos para calcular a energia consumida pelo chuveiro elétrico. Os autores utilizaram dados declarados em 3888 banhos com chuveiro elétrico em unidades de baixa renda. Já na pesquisa de posses e hábitos de consumo da Eletrobrás (2007b) realizada em 2005 a partir de entrevista com 4310 moradores de todo o Brasil obteve-se que 48,3% das pessoas demoram menos de 10 minutos no banho e, 19,9% demoram de 10 a 20 minutos. Salienta-se que os dados em relação à duração do banho foram obtidos com base nas declarações dos usuários sem medições para aferição dos reais valores.

### 2.3.2 Determinação da linha de base

As economias de energia são determinadas indiretamente, através do cálculo da diferença entre o consumo de energia na linha de base e a energia medida após a instalação de uma ação de eficiência energética, dentro de condições similares de operação (EVO, 2003).

Cristensen e Burch (1994) estabelecem quatro tipos de abordagens para determinar a linha de base:

(a) Comparação com um “Grupo de controle”: A energia elétrica consumida por um grupo de unidades residenciais sem sistema de aquecimento solar de água é comparado com um grupo de unidades com o sistema. Neste caso, o grupo de controle precisa ser o mais similar possível com o grupo do sistema de aquecimento solar. Tal necessidade pressupõe um maior tamanho da amostra. Em EVO (2003) menciona-se

que o grupo de controle deve ser usado somente se o número de unidades é suficiente para um resultado estatisticamente significativo;

(b) Abordagem “Antes e Depois”: A medição da energia elétrica consumida antes do sistema de aquecimento solar ser instalado é comparada com a medição após a instalação do sistema. Assim, avalia-se a economia de energia a partir de uma mesma unidade habitacional, com a disponibilidade de um histórico de consumo anterior à inclusão do sistema de aquecimento solar. Entretanto, os dados precisam ser medidos por um período mínimo de dois anos para realizar os ajustes em função das variações sazonais no uso da água quente, na temperatura média e no clima;

(c) Abordagem “Ativar e Inativar” o sistema: O sistema de aquecimento solar é ligado e desligado do circuito de aquecimento de água da residência a partir de uma sequência pré-determinada. Desta forma, a medição do consumo de energia elétrica com e sem o sistema de aquecimento solar é comparada sem que os hábitos de consumo dos ocupantes sejam alterados. Tal abordagem requer a ativação e inativação do sistema de forma automática, o que a torna complexa e de alto custo. Segundo Cristensen e Burch (1994), os ocupantes não devem ter conhecimento de quando o sistema solar está ativado e quando não está, evitando assim, que ocorram alterações no consumo devido a disponibilidade ou não de água quente. Souza e Abreu (2009) argumentam que esta abordagem se torna complexa pelo fato do usuário ficar sem o uso do sistema por um determinado período, o que acarretará no aumento da fatura mensal de energia;

(d) Abordagem “Desempenho de referência calculado”: O desempenho do sistema de referência formado pelo sistema de aquecimento de água convencional é calculado ao invés de medido. Cristensen e Burch (1994) consideram que o cálculo seja feito baseado na medição do perfil de consumo das unidades com sistema de aquecimento solar. Assim, busca-se a rotina de ocupação em unidades com aquecimento solar para estabelecer o consumo de energia pelo sistema convencional ao longo do ano. É importante que os perfis calculados para o modelo de referência sejam de mesmo padrão ocupacional das unidades com sistema solar (mesmo número de pessoas e horário do banho) cujo consumo de energia será calculado. Uma vantagem da abordagem de desempenho de referência calculado é o baixo custo devido a não necessidade de medição da linha de base e diminuição do tempo de medição (no caso da abordagem antes e depois).

No volume III parte I do protocolo internacional (EVO, 2006) voltado para novas edificações, cita-se que a diferença entre uma M&V aplicada em *retrofits* e outra aplicada em novas edificações está na definição da linha de base. Em *retrofits*, a linha de base pode ser obtida a partir de uma condição da edificação anterior à modificação. Assim, a linha de base existe e pode ser monitorada. Já em novas edificações, a linha de base pode ser definida por meio da abordagem “ativar e inativar” definida por Cristensen e Burch (1994) e EVO (2003) ou, pode ser definida hipoteticamente por meio da abordagem desempenho de referência calculado, também citada pelos autores.

Em EVO (2006) é mencionado que a linha de base hipotética pode ser definida por códigos, regulamentações, ou manual de práticas comuns. As condições hipotéticas para representar a linha de base devem ser ajustadas no método de medição adotado em função de possíveis mudanças na operação do sistema medido, como por exemplo, aumento do número de ocupantes, mudanças climáticas, entre outros.

### **2.3.3 Determinação dos níveis de monitoramento**

Os níveis de monitoramento variam em função do número de variáveis que se pretende medir e com que frequência. Segundo Cristensen e Burch (1994), existe uma sinergia entre o nível de detalhes da abordagem de monitoramento adotada, a duração das medições e o custo acessível do tamanho da amostra. Baixos níveis de detalhe de monitoramento requerem medições em longo prazo e uma amostra grande. Já monitoramentos detalhados permitem medições de curta duração e um menor tamanho da amostra.

O protocolo internacional (EVO, 2012) expõe quatro opções para aplicação da M&V:

(a) Opção A: *Retrofit* parcialmente isolado: Nesta opção, foca-se no desempenho do sistema isolado, e onde pelo menos um dos parâmetros de influência no desempenho do sistema deve ser medido para se determinar a economia de energia. Os demais parâmetros podem ser estimados. O desempenho do sistema é medido, porém as condições de operação são estimadas. Em EVO (2003) define-se que esta opção de M&V é mais adequada para pequenos sistemas em que não se justifica o alto custo dos equipamentos e análises. Um exemplo de aplicação da opção A refere-se à análise do funcionamento do sistema de aquecimento solar, baseada na medição apenas da temperatura. A temperatura na saída do reservatório é medida por um período de um

mês. Os dados são comparados com cálculos estimados baseados em dias de céu aberto. Esta comparação entre a temperatura medida e a estimada por meio de cálculos permite elaborar um diagnóstico técnico para aferir se o sistema funciona próximo do esperado;

(b) Opção B: *Retrofit* isolado: Foca-se no desempenho do sistema isolado e todos os parâmetros de influência no consumo devem ser medidos. Assim, a opção B diferencia-se da opção A no sentido de que naquele, as condições de operação também devem ser medidas;

(c) Opção C: Medição de toda a instalação: A economia de energia é obtida por meio do medidor principal de energia da concessionária. Neste caso, é medido o consumo total da edificação e não somente o sistema de aquecimento solar que se deseja analisar. Após a instalação do sistema de aquecimento solar, a medição do consumo total de toda a instalação é comparada com a medição do consumo total na linha de base. Nesta opção, ajustes devem ser realizados na linha de base devido as possíveis mudanças no uso ou operação de alguma instalação. A abordagem é nomeada pela ASRHAE (2011) como “monitoramento não instrumentado”, quando se faz uso apenas de dados da fatura mensal de energia elétrica. É uma abordagem de baixo custo e de maior imprecisão já que não se pode saber com exatidão o desempenho energético de uma determinada medida de conservação de energia diante do consumo total do edifício. Segundo EVO (2003), a opção C é mais adequada em sistemas de energia renovável que possuem significativo impacto no consumo total. No guia de medição e verificação da Eletrobrás/Procel (2007a) complementa-se que a opção poderá ser aplicada caso a economia de energia esperada seja superior a 10% do consumo na linha de base. Em EVO (2003) cita-se que a precisão deste método é limitada pelas inúmeras variáveis que influenciam no desempenho do edifício;

(d) Opção D: Simulação Calibrada: A economia de energia é determinada por meio de simulação do consumo de energia de alguns componentes ou de toda a edificação. O guia da Eletrobrás/Procel (2007a) define simulação calibrada como sendo “o modelo matemático que reflete o consumo de uma instalação ajustada em relação aos registros de energia disponíveis”. Em EVO (2003) cita-se que para calibrar o modelo, os parâmetros de operação do sistema assim como das variáveis independentes tal como radiação solar e temperatura, são medidos por um curto período. Posteriormente os parâmetros da simulação do modelo são ajustados buscando a correlação entre os dados medidos e simulados. Por fim, a simulação calibrada produz uma estimativa de economia anual de energia baseada nos parâmetros

medidos. A partir da opção D pode-se produzir uma estimativa de desempenho anual do sistema com base apenas nas medições de curtos períodos.

### **2.3.4 Definição da amostra e extrapolação dos dados medidos**

Segundo Cristensen e Burch (1994), o objetivo de qualquer monitoramento é proceder de um resultado específico de uma determinada amostra, para gerar resultados significativos para a população inteira envolvida. Segundo o protocolo internacional, para avaliar múltiplas instalações, técnicas de amostragem devem ser aplicadas. Para isso deve-se dividir a população em subgrupos homogêneos (EVO, 2012). Entretanto, a população a qual se refere o protocolo se relaciona aos equipamentos analisados por exemplo, “agrupamento de lâmpadas de mesma potência ou ar-condicionados de mesma capacidade”. Identificando subgrupos homogêneos, a próxima etapa é determinar o nível de precisão e confiança para obter o tamanho da amostra. O procedimento da ANEEL (2013) sugere erro de 10% e nível de confiança de 95%. Tal condição reflete em grandes amostras, tendo em vista que é comum no Brasil casos de conjuntos habitacionais com centenas de instalações. Em se tratando de medições detalhadas, seguindo a opção B do protocolo internacional, ao longo de um ano este procedimento se torna de alto custo e de alta complexidade uma vez que gera a necessidade da intervenção em muitas unidades, envolvendo recursos significativos. Neste caso, o documento especifica que em projetos voltados para baixa renda, a ANEEL poderá indicar índices que reduzirão o tamanho da amostra.

De acordo com ANEEL (2013), desenvolver uma M&V em projetos voltados para a população de baixa renda é um desafio. Tais projetos caracterizam-se por múltiplas instalações de pequeno porte, diferentemente do foco abordado pelo protocolo internacional, concebido para avaliar individualmente instalações de maior porte. Em sua última versão, o procedimento do programa de eficiência energética inclui a seguinte consideração: “Para explicar a variação de consumo entre unidades (residências), as variáveis independentes devem englobar variáveis econômicas e sociais...”, fazendo referência à grande variabilidade socioeconômica existente neste contexto. Todavia, procedimentos para a consideração desta variabilidade não foram introduzidos no documento.

## 2.4 EXPERIÊNCIAS COM MEDIÇÃO DA ECONOMIA DE ENERGIA EM SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR

Hernandez e Kenny (2012) citam que é frequente a disseminação de estudos que demonstram o potencial de sistemas de aquecimento solar de água na redução do consumo de energia em residências. Entretanto, o real desempenho dos sistemas instalados e em uso é raramente relatado. Da mesma forma, Thur, Furbo e Shah (2006) e Furbo et al. (2011) citam que poucos estudos focam na medição da economia de energia proporcionada pelos sistemas de aquecimento solar, atribuindo esta lacuna à complexidade na realização de medições de todas as variáveis envolvidas antes e depois da sua instalação.

Os estudos presentes na literatura estão ligados principalmente aos interesses das concessionárias de energia, que se limitam, sobretudo aos resultados de economia de energia e de redução na demanda, sem investigar os aspectos comportamentais dos usuários, operacionais, ou de instalação, que levaram a tais valores. A seguir, relatam-se algumas experiências de medição em sistemas de aquecimento solar de água.

### 2.4.1 Estudos ligados ao *Florida Solar Energy Center* (FSEC)

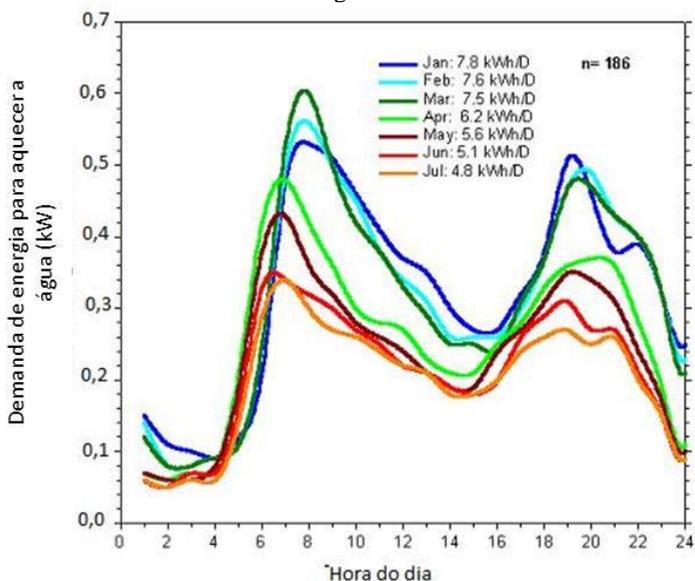
Desde 1978, a *Florida Solar Energy Center* (FSEC) possui um programa de monitoramento, em campo, de sistemas de aquecimento solar. Em 1982, o programa foi expandido com o objetivo de comparar o desempenho de sistemas de aquecimento solar de água com outros sistemas de aquecimento. Merrigan e Parker (1990) relatam o estudo com base em um monitoramento instrumentado em 80 habitações unifamiliares localizadas em quatro regiões da Flórida, sendo 20 com o sistema de aquecimento solar de água, 20 com aquecedor elétrico de acumulação, 20 com bomba de calor e 20 com um sistema de condicionamento à vapor. O monitoramento, com a transmissão de dados em tempo real, ocorreu durante dois anos, entre julho de 1982 e junho de 1984. O número de pessoas nas famílias era similar entre as amostras, com uma média de 3,55 ocupantes por unidade. O foco da medição se direcionou para a energia fornecida pelos sistemas e para o consumo de energia elétrica. A medição da energia fornecida foi efetuada por meio de um sensor de vazão de água posicionado na tubulação de água fria que alimenta o reservatório térmico, além de sensores de temperatura de água quente e fria. Segundo os autores, testes em laboratório com os sensores de vazão de água indicaram erro de  $\pm 2,5\%$ . A medição do consumo de energia dos sistemas de

aquecimento auxiliares ocorreu com um medidor de energia (kWh). Um *datalogger* realizava a coleta de dados em intervalos de 15 minutos e sua transferência remota para um computador. Os resultados demonstraram que o sistema de aquecimento solar de água, quando comparado com o aquecedor elétrico de acumulação, apresentou 68% de redução do consumo de energia diário e 61% de redução na demanda de pico de inverno. A influência do usuário e de demais variáveis no consumo de energia não foram analisadas no estudo.

Mais tarde, Parker (2003) apresenta um monitoramento detalhado em 204 habitações localizadas na Flórida, realizado entre janeiro e agosto de 1999. O estudo se destaca por analisar os fatores que afetam o consumo de energia em sistemas de aquecimento de água, pouco comum na literatura. As análises se direcionaram não somente para os resultados, mas em como eles ocorrem. Segundo o autor, o objetivo da medição era identificar soluções para que a curva de carga residencial pudesse ser reduzida e avaliar melhorias na eficiência energética de habitações de clima quente. Dentre todas as habitações monitoradas, apenas quatro apresentavam sistema de aquecimento solar. As análises demonstraram grande influência da temperatura do ar no consumo de energia pelos sistemas de aquecimento de água. Consequentemente, grandes variações na curva de carga média foram observadas ao longo do ano, com uma diferença significativa entre as curvas de janeiro, fevereiro e março (inverno) e a curva de julho (verão), conforme a Figura 6.

Os dias da semana também tiveram grande influência no consumo de energia para aquecer a água. Os domingos tiveram os maiores consumos de energia devido a maior ocupação na habitação. Entretanto, a demanda de pico no inverno (às 8h da manhã) apresentou os menores resultados para este dia. Como se esperava, a influência da ocupação no consumo de energia pelos sistemas de aquecimento de água foi altamente significativa. No estudo também foi demonstrada uma análise quanto aos diferentes sistemas de aquecimento, dentre eles o sistema de aquecimento solar de água, sistema de aquecimento elétrico e um sistema de recuperação de calor (*Heat Recovery Unit*). O sistema de aquecimento solar apresentou menor demanda média ao longo do dia, para o inverno, principalmente no horário de pico (entre 6h e 9h da manhã). A redução na demanda de pico foi de aproximadamente 0,31 kW e a redução anual do consumo de energia elétrica foi de 61%, ambos em relação aos sistemas que usam resistência elétrica.

Figura 6 - Curva de carga média mensal para aquecimento da água em habitações da Flórida, com variadas tipologias de sistema de aquecimento de água.



Fonte: Adaptado de Parker (2003).

Ainda em relação aos estudos vinculados ao *Florida Solar Energy Center* (FSEC), destaca-se, principalmente, a experiência de medição adotada no “*Solar Weatherization Assistance Program*” (SWAP). SWAP foi um programa piloto que promoveu subsídios às empresas participantes do *Weatherization Assistance Program*<sup>5</sup> (WAP) para a instalação de sistemas de aquecimento solar de água em habitações de interesse social da Flórida. A *Florida Solar Energy Center* (FSEC) conduziu um programa completo de medição, inspeções e entrevistas com os usuários que receberam a tecnologia. Para receber o sistema de aquecimento solar as famílias de baixa renda interessadas procuraram as agências locais. Elas precisavam ser compostas por, no mínimo, três pessoas, ser o proprietário do imóvel e residir em uma das três regiões especificadas pelo programa. O sistema de aquecimento de água existente deveria ser obrigatoriamente, o aquecedor elétrico de

<sup>5</sup> Weatherization Assistance Program (WAP) é um programa do Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) que subsidia a implementação de melhorias de eficiência energética em habitações de interesse social.

acumulação. Segundo Harrison e Long (1998), este é o sistema utilizado pela maioria da população do estado da Flórida. O relatório final do programa é apresentado pelos autores. Nele, citam-se dois métodos de medição da economia de energia empregados pelo FSEC, sendo um deles baseado no monitoramento instrumentado (*hard monitoring*) e o outro no monitoramento não instrumentado (*soft monitoring*).

O monitoramento não instrumentado ocorreu em 200 habitações. Este foi baseado na análise da conta de energia mensal antes e após a instalação do sistema, englobando um período de nove a doze meses para cada cenário. Inspeções e entrevistas com usuários complementaram esta abordagem. Segundo Harrison e Long (1998), o monitoramento não instrumentado foi aplicado para verificar se o uso da conta de energia elétrica poderia ser um método simplificado para avaliar a economia de energia proporcionada pelos sistemas de aquecimento solar. Das 801 unidades com sistema de aquecimento solar instalados pelo programa, 300 inicialmente fizeram parte do monitoramento não instrumentado. Entretanto, 100 unidades foram retiradas da análise por não apresentarem todas as contas mensais de energia, ou devido a problemas com o sistema, ou mudanças na ocupação.

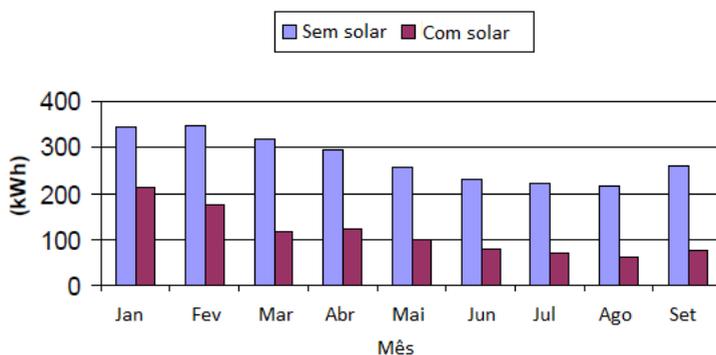
O monitoramento instrumentado consistiu por medições detalhadas em 35 dentre as 200 habitações de interesse social analisadas. Foram medidos: temperatura, vazão de água e consumo de energia. Os sensores de temperatura, termopares com erro de  $\pm 1,5^{\circ}\text{F}$ , foram posicionados tanto na entrada de água fria do reservatório térmico como na saída de água quente do mesmo. O medidor de fluxo de água, com erro de  $\pm 1,5\%$ , foi posicionado na tubulação de entrada de água fria que alimenta o reservatório térmico. Ressalta-se que um dos motivos para este posicionamento foi que o medidor utilizado não era apropriado para medições de água quente. O medidor de energia elétrica apresentava erro de  $\pm 2\%$ . Um *datalogger* com transferência remota dos dados era utilizado no programa. As medições foram realizadas por um período de dois anos, adotando a abordagem “antes e depois” da técnica de M&V. Assim, as medições ocorreram um ano antes e um ano após a inclusão do sistema. As famílias não poderiam fazer viagens superiores a duas semanas para não prejudicar os dados finais.

Os resultados obtidos no monitoramento não instrumentado foram comparados com os obtidos por meio do monitoramento instrumentado. Trinta e uma unidades que passaram pelo monitoramento instrumentado foram utilizadas nesta análise. Apenas uma unidade das 200 analisadas obteve dados estimados dentro das margens de erro

estabelecidas por meio do software PRISM, adotado no estudo. Mudanças na ocupação assim como a interferência do consumo pelo ar-condicionado foram fatores que contribuíram para as dificuldades de análise (HARRISON e LONG, 1998).

Os resultados do monitoramento instrumentado demonstraram grande redução do consumo de energia elétrica pelos sistemas de aquecimento solar de água, como é ilustrado na Figura 7. A redução chegou a aproximadamente 67% para o mês de julho, período de verão.

Figura 7 - Consumo médio mensal para aquecimento da água antes e após a introdução do sistema de aquecimento solar em habitações de interesse social da Flórida.

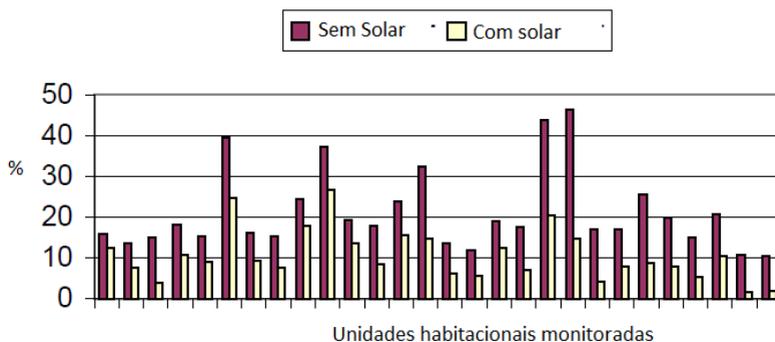


Fonte: Adaptado de Harrison e Long (1998).

A economia de energia média anual foi de 1600 kWh por sistema, com fração solar média de 0,53 (HARRISON; LONG, 1998). Nas regiões do sul da Florida obtiveram-se frações solares com cerca de 0,77. Entretanto as frações solares obtidas nas regiões norte reduziram a média devido à maior necessidade do uso da resistência elétrica.

A Figura 8 ilustra a participação do sistema de aquecimento de água no consumo total da unidade, antes e após a introdução do sistema de aquecimento solar. Os dados referem-se às 28 unidades dentre as 35 monitoradas.

Figura 8 - Participação do sistema de aquecimento de água no consumo total de energia elétrica antes e após a instalação do sistema de aquecimento solar em habitações de interesse social da Flórida.



Fonte: Adaptado de Harrison e Long (1998).

De acordo com a Figura 8, anterior à introdução do sistema de aquecimento solar, as unidades habitacionais sem a presença de ar-condicionado apresentaram participação do sistema de aquecimento de água com mais de 40% no consumo total. Já as unidades com ar-condicionado, a participação do sistema de aquecimento de água ficou próxima de 20%. Com a introdução do sistema de aquecimento solar, a participação do sistema de aquecimento de água no consumo total de energia se reduz de forma expressiva, em todas as unidades monitoradas.

Além das medições, o programa contemplou um procedimento de inspeção, importante para identificar as falhas e garantir o bom desempenho do sistema em uso. Os procedimentos de inspeção foram desenvolvidos pela FSEC, assim como o treinamento do corpo técnico. Esta foi realizada em 25% das unidades que receberam o sistema. Segundo os autores, 53% dos problemas encontrados estavam relacionados com a instalação do sistema.

Por fim, complementando a metodologia do monitoramento não instrumentado, houve a aplicação de entrevistas com as famílias que receberam o sistema há pelo menos um ano. Os questionários eram enviados pelo correio ou entregues no momento da inspeção. As questões abordadas eram relativas ao número de pessoas na família, aos padrões de uso da água quente, percepções de economia com o sistema de aquecimento solar, quantidade de água quente disponível, uso do ar-condicionado, entendimento do sistema, entre outras. Dentre os

resultados tem-se que 77% das famílias estavam satisfeitas com o sistema. Dentre os fatores que motivaram a não satisfação, 29% era relativa à ausência de economia na conta de energia, seguida de 22% que diziam não haver água quente em quantidade suficiente. Outra questão importante foi relativa ao entendimento de como o sistema funciona. 31% das famílias afirmaram não saber como o sistema funciona.

A metodologia de medição desenvolvida pela *Florida Solar Energy Center* pode ser considerada completa, pois se aprofunda tanto nos aspectos qualitativos quanto nos aspectos quantitativos (medição). Entretanto, tais aspectos não se articulam. As questões observadas na avaliação qualitativa indicam que existem problemas de uso do sistema. Neste caso, o monitoramento instrumentado poderia contribuir para entender, de fato, como as pessoas estão utilizando o sistema e detectar possíveis falhas que comprometem resultados de economia de energia. Desta forma, os aspectos sociais e técnicos se integrariam em uma análise conjunta permitindo compreender os resultados de economia de energia.

Algumas diferenças podem ser identificadas entre as famílias beneficiadas com sistema de aquecimento solar de água do programa Minha Casa, Minha Vida, e as famílias participantes do SWAP. Estas já utilizavam um sistema de aquecimento elétrico de acumulação. Com isso, a inclusão de uma nova tecnologia solar não afetou a forma de se obter a temperatura de banho. Outro aspecto é que as próprias famílias se dirigiam aos organizadores do programa SWAP manifestando interesse pela adoção do sistema de aquecimento solar. Isso demonstra conhecimento prévio do sistema e das vantagens que ele pode proporcionar. Por fim, as famílias já moravam nas unidades o que permite extrair informações de consumo anteriores à inclusão do sistema para compor a linha de base.

#### **2.4.2 Estudo ligado ao *National Renewable Energy Laboratory* (NREL)**

Em Walker, Christensen e Yanagi (2003) cita-se um estudo desenvolvido a partir dos princípios estabelecidos pelo protocolo internacional para tecnologias de energia renovável (EVO, 2003). A pesquisa, vinculada ao *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) nos Estados Unidos, teve como objetivo obter as reais economias de energia (kWh/ano) e redução da demanda (kW) em 60 unidades residenciais com sistema de aquecimento solar de água. As unidades

estavam localizadas em Kiai Kai Hale, região da Guarda Costeira dos EUA em Honolulu, Havaí. A iniciativa da inserção do sistema nas unidades partiu de um projeto piloto do departamento de energia dos Estados Unidos através do programa de gerenciamento de energia da FEMP (*Federal Energy Management Program*).

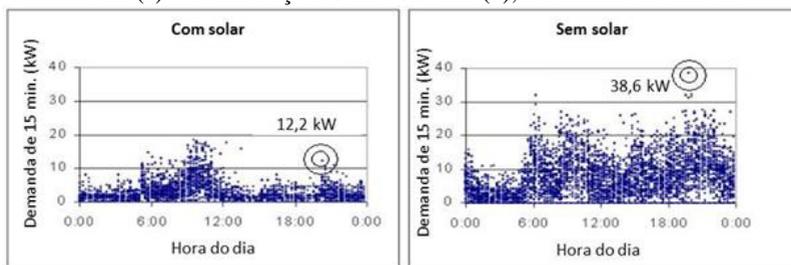
O estudo contemplou o monitoramento em uma amostra inicial de 50 unidades residenciais sendo 25 com sistema de aquecimento solar e 25 sem aquecimento solar. As 25 unidades sem aquecimento solar representam a linha de base a partir da abordagem “grupo de controle”, de acordo com EVO (2003). Cada sistema de aquecimento solar empregado é composto por um coletor solar plano fechado, com 3 m<sup>2</sup> de área e reservatório térmico de 454,25 litros, com resistência elétrica interna. A circulação da água ocorre com o auxílio de bomba (sistema ativo). Para as medições, as unidades foram equipadas com *dataloggers* que registravam o momento em que a resistência elétrica do reservatório térmico era ligada e desligada, com resolução de 0,5 segundos. A potência da resistência elétrica de 4,5 kW foi tomada como constante ao longo das medições. Os *dataloggers* foram programados para iniciar a leitura em 11 de junho de 2002, com memória suficiente para seis semanas de armazenamento, não permitindo verificar o desempenho e uso do sistema ao longo do ano. Dos 25 medidores instalados nas unidades com sistema de aquecimento solar, quatro apresentaram problemas. Dos 25 medidores instalados nas unidades sem sistema de aquecimento solar, oito apresentaram problemas. Tais problemas só foram detectados após o período de medição, tendo em vista que o sistema adotado não transferia os dados em tempo real para uma base de análise. Desta forma, 21 unidades com solar e 17 unidades sem solar compuseram a amostra. Segundo os autores, a medição ocorreu com base na opção B do protocolo internacional porque isolou o sistema em análise registrando o momento em que a resistência elétrica é acionada. Posteriormente os dados medidos foram ajustados e extrapolados para um ano inteiro a partir de simulações calibradas, utilizando assim, a opção D do protocolo.

Com base nos 43 dias de medição chegou-se a um consumo médio diário de 11,1 kWh por unidade sem sistema de aquecimento solar, enquanto que nas unidades com sistema solar o consumo médio diário de energia foi igual a 2,5 kWh. Obteve-se assim a economia de energia de 8,6 kWh/dia por unidade habitacional.

Obteve-se a demanda de pico (entre 17h e 21h) de 0,58 kW por unidade com sistema de aquecimento solar e 2,27 kW por unidade sem sistema de aquecimento solar. Extraíndo-se a demanda estimada para a

bomba de circulação da água do sistema, a redução na demanda de pico foi de 1,62 kW. Os autores extrapolaram a redução na demanda de pico para a população total de 60 unidades habitacionais com a tecnologia termossolar e chegaram a uma redução acumulada de 97,2 kW. A Figura 9 contém as demandas máximas de pico obtidas, considerando o somatório das demandas obtidas para 21 unidades com solar (a) e 17 unidades sem solar (b).

Figura 9 - Demanda de pico em 21 habitações com sistema de aquecimento solar (a) e 17 habitações sem o sistema (b), localizadas no Havai.



(a)

(b)

Fonte: Walker, Christensen e Yanagi (2003).

Finalizando o estudo de Walker, Christensen e Yanagi (2003), cálculos e modelos estatísticos permitiram estimar o desempenho do sistema de aquecimento solar de água ao longo de um ano, frente às variações climáticas. Os padrões de uso do sistema obtidos para os 43 dias de medição foram extrapolados para o ano inteiro. Chegou-se a uma fração solar média anual de 0,74 e economia de energia anual de 3139 kWh por unidade, proporcionada pelo sistema de aquecimento solar de água.

### 2.4.3 Experiência no Canadá

Bédard e Leduc (2011) realizaram o monitoramento em Quebec, Canadá, a partir da solicitação de uma concessionária de energia elétrica da cidade, a fim de se verificar o real desempenho de sistemas de aquecimento solar. Assim, os objetivos eram obter a real economia de energia do sistema de aquecimento solar de água, e o seu impacto na demanda de pico de inverno. O monitoramento, realizado ao longo de dois anos inteiros, foi feito em quatro diferentes sistemas de aquecimento solar residenciais, instalados em uma mesma edificação.

Um anexo foi construído para abrigar os reservatórios térmicos e demais instalações necessárias. Uma estação meteorológica foi instalada na cobertura da edificação, registrando temperatura do ar, velocidade e direção do vento. De acordo com os autores, em Quebec, mais de 90% das unidades habitacionais possuem sistema de aquecimento de água elétrico, de acumulação. Assim, além dos sistemas de aquecimento solar, um quinto sistema formado pelo aquecedor elétrico tradicional foi utilizado como o modelo de referência para o cálculo da economia de energia. Dois sistemas funcionavam por termossifão, com reservatório de 364 litros e diferença apenas na área do coletor solar plano. O terceiro sistema era formado por coletor de tubos evacuados, reservatório de 300 litros e trocador de calor. O quarto sistema era formado por coletor solar plano, e volume do reservatório de 400 litros. Os parâmetros medidos foram: radiação solar no plano do coletor, temperatura da água na entrada e saída do coletor, no trocador de calor e no reservatório térmico, vazão de água, energia (a cada cinco minutos) associada ao sistema de aquecimento auxiliar, e temperatura externa do ar. O esquema de ocupação da habitação era manipulado por um sistema automatizado de controle das aberturas de água nos pontos de consumo. O esquema era representativo de uma família padrão, formada por quatro pessoas, sendo dois adultos, um jovem e uma criança. Durante os dias da semana, supostamente todos os integrantes saíam às 8h e voltavam às 17h. Este esquema de ocupação foi adotado simultaneamente para os cinco sistemas analisados, com base em outro estudo desenvolvido pelo *Laboratoire des Technologies de l'Énergie* (LTE) do qual fazem parte os autores. O estudo envolveu a medição em 75 habitações onde se obteve o consumo de 208 litros de água quente por dia (para quatro pessoas). Segundo os autores, o parâmetro é menor do que o indicado pela ASRHAE 90.2-2007 a qual estima o consumo de 230 litros de água quente para uma família de quatro pessoas. As reais condições climáticas monitoradas verificaram períodos longos onde os coletores ficaram cobertos de neve, mesmo com a inclinação de 60°. Os autores também verificaram diferenças significativas entre ganhos solares mensais nos dois anos de monitoramento. Ao longo do ano de 2008, os sistemas de aquecimento solar economizaram de 33% a 38% dos 4510 kWh consumidos pelo sistema de referência. O monitoramento em 2009-2010 apresentou resultados similares em economia de energia com uma média de 35% para dois dos sistemas monitorados. A redução na demanda média de pico durante o período de inverno chegou a 60%. Os autores afirmam que embora a estimativa de economia de energia estipulada por programas de incentivo à aquisição de sistemas de

aquecimento solar fosse de 50% a 60%, o estudo verificou que, nas reais condições climáticas de Quebec, a economia não poderia ser maior do que 40%.

#### **2.4.4 Pesquisas na *Technical University of Denmark***

Dentre os estudos realizados pelo departamento de engenharia civil da *Technical University of Denmark*, Furbo et al. (2011) investigaram a economia de energia proporcionada pelo sistema de aquecimento solar instalado em 21 habitações, localizadas em diferentes regiões. O estudo foi realizado em parceria com três fabricantes de sistema de aquecimento solar, responsáveis pela instalação do sistema nas habitações estudadas. As unidades possuíam diferentes tipologias de aquecimento solar, e diferentes sistemas auxiliares, variando entre gás natural, óleo, lenha e eletricidade. Para o método de medição, os autores optaram pelo monitoramento não instrumentado, correspondente à opção C do protocolo internacional, baseado na análise de contas mensais de energia elétrica de toda a edificação, sem medições de consumo de energia do sistema isolado. Os autores assumem que a demanda para aquecimento de água e consequentemente de consumo de energia são principalmente influenciados pelo clima. Assim, o número de graus-dia de aquecimento representou um importante parâmetro para investigar o consumo de energia antes e após a implementação da tecnologia. Obteve-se o número mensal de graus-dia pelas estações climáticas próximas às habitações em análise, relativo aos anos de 2006, 2007, 2008 e 2009. Os três primeiros anos compreendem o período sem o sistema de aquecimento solar, instalado em 2009 nas 21 habitações. Em paralelo, o consumo mensal de energia para os mesmos períodos foram fornecidos pelos próprios proprietários das habitações. No estudo, os consumos das diferentes fontes energéticas presentes nos sistemas de aquecimento originais foram convertidos em kWh. Uma vez que o consumo de energia com o sistema de aquecimento solar é conhecido, e com base na correlação entre consumo de energia anual e graus-dia anual, é possível estimar qual seria o consumo para 2009 se a habitação não tivesse o novo sistema. Os autores exemplificam o método proposto com base nos resultados obtidos para uma das 21 habitações. Os consumos anuais obtidos foram 20660 kWh em 2006, 21701 kWh em 2007, 21884 kWh em 2008 e, após a instalação do sistema, 19454 kWh em 2009. Da mesma forma, obteve-se para os respectivos anos, os graus-dia anual de 2650 K/ano, 2934 K/ano, 3089 K/ano e 3476 K/ano. Com base na análise de regressão entre consumo e graus-dia, o consumo

para 2009 seria de 23500 kWh, proporcionando uma economia de energia anual de 4046 kWh por ano. Os resultados finais, com todas as 21 habitações, demonstraram uma grande variação de economia de energia, entre 1300 kWh e 9700 kWh.

Os autores definem um método simples direcionado ao resultado de economia de energia. Assumiram que a única variável de influência no consumo é o clima. A variação na ocupação ou a alteração do uso de um eletrodoméstico por exemplo, não foram levantados na análise.

Thur, Furbo e Shah (2006), pesquisadores da mesma instituição, relatam a dificuldade na obtenção de resultados de economia de energia em sistemas de aquecimento solar, pois dependem de um grande número de dados anteriores e posteriores à sua introdução. Um dos aspectos que os autores destacam no estudo é que a economia de energia depende da eficiência do sistema de aquecimento anterior, utilizado como referência na linha de base. Para determinar as economias de energia proporcionadas por sistemas de aquecimento solar, os autores se empenham na medição da eficiência do sistema antigo. Demonstram que a eficiência energética de aquecedores a gás ou a óleo não é a mesma em sistemas mais antigos, quando comparados com sistemas de até três anos de uso. Consequentemente as economias de energia seriam maiores para sistemas antigos, aspecto muitas vezes não considerado nos estudos.

Knudsen (2002), também pesquisador da *Technical University of Denmark*, segue os estudos de Jordan e Vajen (2000) e concentra sua pesquisa na influência do usuário no desempenho e economia de energia em sistemas de aquecimento solar de água de pequeno porte. Segundo Lundh (2011), nos estudos por simulação, frequentemente, define-se um padrão de consumo de água quente simplificado, sem distinção entre diferentes usos que podem ocorrer devido às variações climáticas, dias de semana e finais de semana. Assim, padroniza-se um esquema de ocupação representativo. Entretanto, estudos como os de Knudsen (2002) e Jordan e Vajen (2000) indicam que diferentes padrões de ocupação interferem diretamente na economia de energia. Para isso, as simulações de desempenho com a tecnologia são conduzidas com base em um perfil de uso de água quente mais real, baseado em pesquisas de campo. O padrão de uso real adotado nas simulações de Knudsen (2002) foi obtido com base em Jordan e Vajen (2000) segundo estudos da Agência Internacional de Energia (IEA *Task 26*). Entretanto os dados não foram medidos e sim declarados por 179 famílias suecas, por meio de um método de coleta de dados chamado de *Time-Use data*. No método, os usuários preenchem todas as atividades que estão sendo

desenvolvidas ao longo do dia, onde e quando ocorreram, a duração e os membros da família que participaram. Com base nas informações, os autores modelaram diferentes curvas de carga.

#### **2.4.5 Projeto Sapucaias – Brasil**

Em Pereira et al. (2003), Mesquita et al. (2004) e Fantinelli (2006) relata-se o monitoramento não instrumentado realizado através do projeto Sapucaias (Eletrobrás Solar) na cidade de Contagem, Minas Gerais. Segundo Fantinelli (2006), o projeto Sapucaias foi um projeto pioneiro contemplando o maior número de famílias reunidas em um único local e fomentado pelo poder público em área urbana. Foi conduzido pelo grupo de estudo em energia Green Solar da PUC-MG de Belo Horizonte com a parceria do Ministério de Minas e Energia e Eletrobrás para a implantação de 100 unidades de sistemas de aquecimento solar de água em habitações de interesse social. Segundo Pereira et al. (2003), ao todo, das 585 famílias moradoras do conjunto habitacional, 150 fizeram um cadastro de interesse pela instalação do sistema. Dessas, 100 foram escolhidas pelo programa a partir do critério de número máximo de seis ocupantes por família e desvio máximo da cobertura de  $\pm 20^\circ$  em relação ao norte geográfico. As famílias participaram da instalação do sistema de aquecimento solar em suas moradias, o qual era composto por um coletor solar plano fechado com dois metros quadrados de área e reservatório térmico de 200 litros. Vinte e uma famílias receberam o chuveiro elétrico de passagem como sistema de aquecimento auxiliar e 79 receberam o sistema com resistência elétrica no interior do reservatório. Outra variação diz respeito à localização do sistema na unidade. Trinta sistemas foram instalados com o reservatório térmico sob a cobertura. Os outros 70 sistemas foram instalados em uma estrutura de apoio independente da unidade habitacional, com reservatório térmico exposto ao ar livre.

Segundo Mesquita et al. (2004), o monitoramento não instrumentado foi baseado em dados mensais de consumo de energia das 100 unidades habitacionais. Os meses de dezembro de 2000 e janeiro de 2001 caracterizaram o período que antecedeu a inclusão do sistema. O período de fevereiro de 2001 a janeiro de 2002 caracterizou o período pós-instalação da tecnologia. De fevereiro de 2003 a janeiro de 2004, um novo monitoramento foi realizado nas unidades com o sistema, entretanto em uma amostra menor, representada por 43 unidades. Os resultados deste monitoramento foram comparados com 15 unidades habitacionais onde o sistema de aquecimento solar havia sido vendido.

Seguindo a abordagem “antes e depois”, obteve-se uma redução média no consumo de energia de 40,9% para as mesmas unidades avaliadas em 2000 (sem o sistema de aquecimento solar) e em 2003 (com o sistema), conforme demonstra a Tabela 2.

Salienta-se que os valores se referem ao consumo total da edificação, onde as reduções ou aumento no consumo podem estar associados a outras variáveis dentre elas à aquisição de novos equipamentos mais eficientes (reduzindo o consumo), ou à compra de outros equipamentos ou eletrodomésticos (aumentando o consumo), à mudança na rotina de uso da água quente, às condições climáticas diferenciadas. Assim, ajustes da linha de base seriam necessários para melhor aproximação dos dados reais.

Tabela 2 - Consumo médio mensal de energia em habitações de interesse social em Contagem, Minas Gerais, antes e após a instalação de sistema de aquecimento solar.

<b>Situação das unidades</b>	<b>Consumo mensal de energia</b>	<b>Fatura mensal (R\$)</b>	<b>Número de unidades</b>
Antes de inserir o solar (2000)	137	34,61	100
Depois de inserir o solar (2001)	79	12,25	100
Depois de inserir o solar (2003)	81	22,11	43
Unidades sem o solar	145	52,93	15

Fonte: Adaptado de Mesquita (2004).

Mais tarde, em 2005, Fantinelli (2006) aplicou um questionário para avaliar a satisfação dos usuários que receberam o sistema, e verificar hábitos de consumo de energia dos moradores do projeto Sapucaias. Segundo a autora, “a análise do uso, operação, manutenção e comportamento do usuário frente à determinada tecnologia permite uma visão sistêmica das variáveis positivas e os pontos falhos que intervêm na obtenção da eficiência máxima do equipamento”. Vários fatores foram analisados dentre eles os aspectos socioeconômicos e o comportamento em relação ao banho e a nova tecnologia. O questionário foi aplicado em uma amostra de 77 unidades, dentro das

100 que receberam o sistema de aquecimento solar em 2001. Entretanto, algumas famílias haviam vendido o sistema de aquecimento solar. Assim, o estudo baseou-se em 61 unidades com o sistema e 16 unidades sem o sistema (solar vendido).

Complementando os dados de Mesquita et al. (2004), Fantinelli (2006) relata para o ano de 2005, o consumo médio mensal de energia de 85 kWh nas unidades com sistema de aquecimento solar. Assim, a economia de energia obtida nas unidades com sistema de aquecimento solar, comparando o ano de 2000 (antes da inclusão do sistema) e o ano de 2005 (após a inclusão do sistema) foi de 38%.

Os estudos ligados ao projeto Sapucaias podem ser considerados de grande relevância, pois ofereceram uma resposta ao poder público, concessionária de energia, fornecedores do sistema, quanto à economia estimada de um sistema de aquecimento solar de água instalado em habitações de interesse social. A definição pela metodologia de análise simplificada foi reforçada pela avaliação qualitativa, direcionada aos aspectos sociais, importantes neste contexto. O bom resultado de economia de energia obtido contribuiu para as decisões posteriores de inclusão do sistema no programa Minha Casa, Minha Vida (PEREIRA et al., 2013). Todavia, o monitoramento instrumentado com medição isolada do sistema forneceria dados confiáveis de economia, além de padrões de uso do sistema, formas de operação pela população e falhas de uso. Estas informações retroalimentariam os novos programas de inclusão do sistema que posteriormente foram realizados no Brasil.

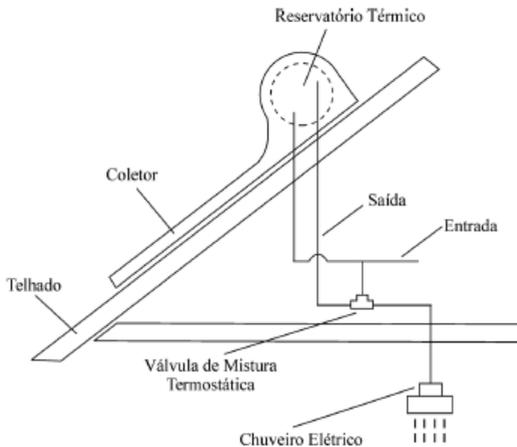
#### **2.4.6 Projeto Buona Vita – Brasil**

Salazar (2004), Napolini, Militão e Rütther (2010), Napolini e Rütther (2011) e Napolini e Rütther (2012) apresentam os resultados de um monitoramento instrumentado do sistema de aquecimento solar, realizado em um empreendimento habitacional de interesse social em Florianópolis, SC, Residencial Solar Buona Vita. O estudo fez parte de um projeto de Pesquisa & Desenvolvimento financiado pelas Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC) no atendimento à lei nº 9.991, realizado em parceria com a Universidade Federal de Santa Catarina. O estudo se destaca devido à realização de medições isoladas no sistema de aquecimento solar, pouco disseminado no país.

Assim como no projeto Sapucaias, os usuários já ocupavam as residências. Com isso, pode-se escolher quais as unidades que receberiam os sistemas de aquecimento solar doados pela concessionária de energia local. Para a escolha das unidades, foi aplicado um

questionário com 166 moradores levantando hábitos de consumo de água quente e características socioeconômicas. A meta foi buscar uma amostra homogênea no que se refere ao uso do sistema pelos usuários buscando um foco direcionado para a tecnologia. As unidades foram escolhidas com base no método do desvio do comportamento ideal. Foram selecionadas as famílias que apresentaram os mais baixos valores do desvio do comportamento ideal. Estas eram compostas em média por três pessoas. Assim, 60 unidades de apartamentos foram escolhidas para receber o sistema de aquecimento solar com base na semelhança de perfis de ocupação e de uso da água quente. Outras 30 unidades foram adotadas como o “grupo de controle” do estudo (sem sistema de aquecimento solar), a partir do qual, obteve-se a economia de energia para o sistema. A estratégia baseia-se nas diretrizes do protocolo internacional (EVO, 2003) para definição da linha de base, assim com adotada em Walker, Christensen e Yanagi (2003). Ao todo 90 unidades de apartamentos foram monitoradas seguindo a opção B do protocolo internacional. O sistema de aquecimento solar instalado nas 60 unidades caracteriza-se por um coletor solar fechado de 1,4 m<sup>2</sup>, reservatório térmico integrado de 100 litros e circulação da água por termossifão, conforme é demonstrado na Figura 10.

Figura 10 - Modelo do Coletor Solar Compacto instalado nas habitações de interesse social do Residencial Solar Buona Vita, Florianópolis, SC.



Fonte: Salazar (2004).

O sistema auxiliar de aquecimento é composto pelo chuveiro elétrico de passagem com potência máxima de 6800 W, e controlador eletrônico de temperatura com ajuste manual. As demais 30 unidades sem o sistema de aquecimento solar possuíam o mesmo modelo de chuveiro elétrico para aquecer a água do banho.

As medições foram realizadas ao longo do ano de 2004. Dados de radiação solar e temperatura do ar foram obtidos em intervalos de um minuto, convertidos em irradiação solar diária ( $\text{kWh/m}^2$ ) e temperatura ambiente média ( $^{\circ}\text{C}$ ). Para a análise da economia de energia e redução na demanda, os parâmetros potência ativa e reativa, tensão e fator de potência foram obtidos no sistema elétrico do chuveiro, com medição a cada minuto em intervalos de coleta de dados de cinco minutos.

O estudo, além de apresentar resultados de economia de energia e redução na demanda, expôs dados relativos à frequência e duração do banho pelos usuários. Entretanto, os dados referentes às unidades com sistema de aquecimento solar só puderam ser obtidos quando o usuário acionava o chuveiro elétrico. Tal valor não representa integralmente o uso da água quente quando se utilizado o sistema de aquecimento solar.

Segundo Napolini, Militão e Rüter (2010), o consumo médio de energia para aquecer a água do banho nas unidades sem sistema de aquecimento solar foi de 43,95 kWh/mês por unidade. Já para as unidades com o sistema, o consumo médio de energia obtido foi de 27,45 kWh/mês por unidade. Assim, houve uma economia mensal de energia para aquecer a água do banho, de 16,50 kWh/mês por unidade. O valor corresponde ao montante anual de 198 kWh ou 37,6% de economia de energia em relação ao grupo de controle (modelo de referência). Considerando a definição de fração solar como a razão entre a economia de energia proporcionada pelo sistema de aquecimento solar para aquecer a água do banho, e o consumo de energia total para esta finalidade sem o uso da tecnologia, chegou-se ao valor de 0,38.

Em Napolini e Rüter (2012) a redução na demanda de pico foi obtida com base na equação 4, a seguir.

$$RDP = D_{SEM\ SOLAR}^{MAX} - D_{COM\ SOLAR}^{MAX} \quad (\text{kW}) \quad (4)$$

Onde:

RDP – Redução na demanda máxima de pico (kW);

$D_{SEM\ SOLAR}^{MAX}$  - Máxima demanda mensal no horário de ponta, nas unidades sem sistema de aquecimento solar (kW);

$D_{COM\ SOLAR}^{MAX}$  - Máxima demanda mensal no horário de ponta, nas unidades com sistema solar (kW).

Os resultados demonstraram que o sistema de aquecimento solar proporcionou uma redução na demanda média no horário de pico de 2,6 kW por unidade, ou 42%, em relação ao sistema de aquecimento com chuveiro elétrico.

Segundo Napolini, Militão e Rütter (2010), o sistema de aquecimento solar beneficiou as famílias de baixa renda não somente devido à redução do consumo de energia, mas também na facilidade do enquadramento do consumo dentro dos limites de tarifação social, no qual isenta ou promove descontos na conta de energia. Entretanto, segundo os autores, o benefício do sistema é maior para a concessionária de energia elétrica devido à redução da demanda proporcionada principalmente em horário de pico. Quando o sistema nacional de energia está sobrecarregado, “qualquer kW e kWh de energia elétrica subsidiada que as concessionárias possam deslocar do consumidor residencial de baixa renda, pode ser oferecido a um preço consideravelmente maior para as outras classes de consumo”.

A metodologia de medição empregada nos estudos do projeto Buona Vitta foca, sobretudo, em resultados relativos ao impacto do sistema na redução da demanda em horário de pico e na economia de energia. Atendem especificamente aos interesses da concessionária e não investigam por exemplo, os fatores que levaram aos resultados de fração solar tão baixos. A quantidade de água quente do reservatório térmico seria insuficiente? As pessoas estariam utilizando o chuveiro elétrico mesmo com água quente no reservatório térmico? A potência do chuveiro elétrico de 6800 W é adequada para compor um sistema de aquecimento solar de água? As famílias estão obtendo conforto com a tecnologia?

## 2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Experiências com medição em sistemas de aquecimento solar em uso puderam ser obtidas, mesmo com o predomínio de estudos na literatura conduzidos por simulações. As experiências aqui relatadas destacaram diferentes abordagens de medição da economia de energia demonstrando a importância de se medir o que realmente ocorre na prática. A medição do sistema de aquecimento solar isoladamente permitiu comprovar resultados de economia de energia e de redução da

demanda por pesquisadores de diferentes países. Em geral, os estudos contemplam grandes amostras e concentram-se nos resultados finais de economia. Viu-se que as medições são utilizadas também para comparar resultados de economia entre diferentes sistemas de aquecimento solar ou comparar este, com outros sistemas. Percebeu-se que a medição de parâmetros como temperatura, água e energia, ajustadas em único sistema de aquisição, e com transmissão remota de dados, há muito tempo vem sendo adotada pela *Florida Solar Energy Center*. A mesma estabelece ainda uma abordagem completa de monitoramento em sistemas de aquecimento solar introduzidos em habitações de interesse social por meio do programa *Solar Weatherization Program*. A abordagem compreende tanto análises técnicas como também de percepção do usuário. Entretanto, elas aparecem dissociadas. As medições não permitem compreender os problemas e a análise de satisfação e percepção não se relacionam com os problemas técnicos ou de uso. As avaliações de satisfação realizadas no *Solar Weatherization Program*, no projeto Sapucaias e em Madeira (2013) demonstraram que existem problemas no uso de sistemas de aquecimento solar sendo a medição necessária para o melhor entendimento de como a tecnologia é usada pelas pessoas. Estudos brasileiros com medição isolada do sistema de aquecimento solar só puderam ser observados no projeto Buona Vita. Pouca investigação dos fatores que afetaram os resultados finais de economia pode ser identificada nas experiências relatadas. Entretanto, Parker (2003) buscou uma linha mais investigativa para entender o que mais afetava a demanda de energia. Aspectos comportamentais, climáticos e de desempenho dos sistemas puderam ser analisados pelo autor, embora o foco não se dirigisse à tecnologia termossolar especificamente. Tais questões são relevantes quando se investiga um sistema subsidiado pelo poder público, atendendo milhares de famílias brasileiras, como é o caso do programa Minha Casa, Minha Vida. Tendo em vista a grande variação socioeconômica e de histórico de consumo de energia da população que recebe uma moradia proveniente do programa Minha Casa, Minha Vida, os estudos conduzidos por uma medição mais investigativa, acerca dos fatores comportamentais que afetam a economia de energia, são necessários. Eles retroalimentam novos estudos buscando identificar as barreiras e oportunidades para melhor uso do sistema pela população. Com isso, aperfeiçoa-se a tecnologia instalada para melhores resultados de economia e assegura-se que as famílias buscarão os sistemas de aquecimento solar em novas moradias.



### **3 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO E DAS CONDIÇÕES DE RADIAÇÃO SOLAR**

Para atingir os objetivos propostos e condução dos estudos tem-se como a questão de pesquisa:

Como avaliar a influência do usuário de baixa renda em resultados de economia de energia de sistemas de aquecimento solar de água?

Buscando responder a questão de pesquisa, a estratégia adotada foi o desenvolvimento de um estudo de caso para investigação em profundidade de um fenômeno complexo ligado ao uso de sistemas de aquecimento solar em empreendimentos habitacionais de interesse social. O estudo de caso contribui para compreensão de um determinado contexto específico regional e ao mesmo tempo, indica um problema generalizado que poderá ocorrer em situações similares. Considerando os estudos de Yin (2003), a presente pesquisa permite mostrar a complexidade existente diante de muitas variáveis que influenciam a utilização da tecnologia termossolar pela população de baixa renda.

Para o entendimento do contexto que envolve o uso de sistema de aquecimento solar de água pelos usuários de baixa renda, no âmbito de uma política pública de subsídio, e desenvolver um procedimento de medição da economia de energia, realizou-se um estudo de caso no Residencial Vista Bela. O conjunto habitacional está localizado no sul do país, na cidade de Londrina, norte do Paraná.

O Residencial Vista Bela (Figura 11) tem a particularidade de ser um dos maiores empreendimentos nacionais financiados por meio do programa habitacional Minha Casa, Minha Vida, composto por 2712 unidades habitacionais. O sistema de aquecimento solar de água foi instalado em todas as 1272 unidades unifamiliares e em 656 unidades de apartamentos. Foi considerado um projeto piloto para inserção de sistemas de aquecimento solar. A partir da experiência neste empreendimento, a instalação da tecnologia transformou-se em item obrigatório para empreendimentos do programa Minha Casa, Minha Vida.

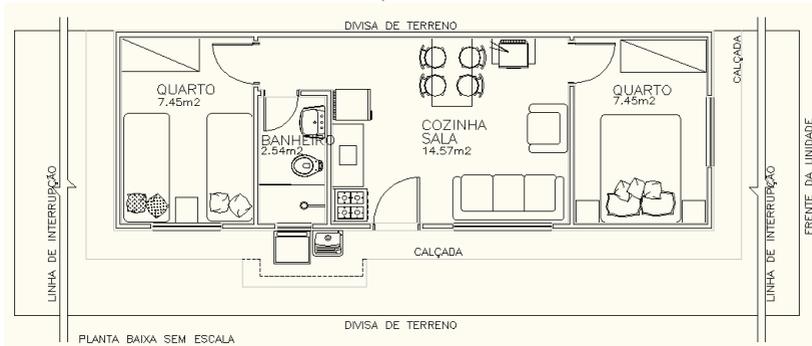
As habitações unifamiliares foram gradativamente ocupadas até dezembro de 2011, sob coordenação da Companhia de Habitação de Londrina - Cohab-Ld.

Figura 11 – Vista das unidades habitacionais unifamiliares do Residencial Vista Bela, dispostas em pares em lotes subdivididos, anterior à entrega aos moradores.



Cada unidade ocupa uma área de terreno de  $125 \text{ m}^2$ , possui área total construída de  $36,89 \text{ m}^2$  e área útil de  $32,00 \text{ m}^2$ . Estão dispostas em pares, em lotes subdivididos. Cada uma possui dois quartos, sala/cozinha, banheiro e lavanderia externa coberta, conforme demonstrado na Figura 12.

Figura 12 - Planta baixa da unidade habitacional térrea do Residencial Vista Bela, Londrina.



Fonte: adaptado de Cohab (2012).

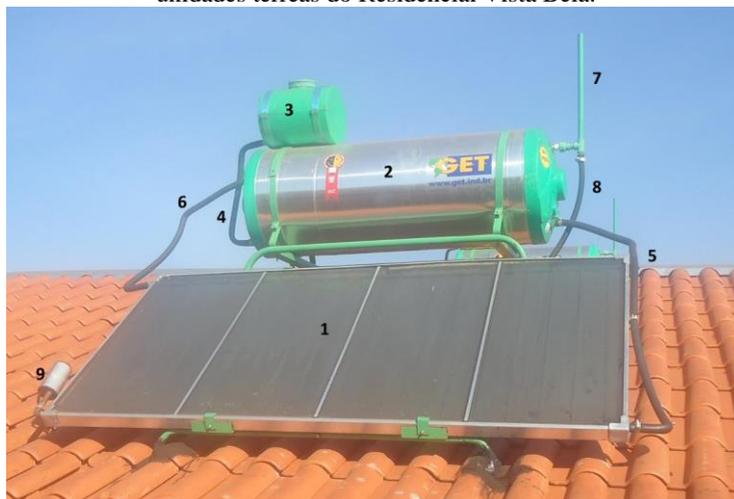
As unidades possuem cobertura formada por telhas cerâmicas, estrutura em madeira com inclinação de 19°, e forro horizontal em PVC.

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA

As unidades habitacionais receberam a mesma tipologia de sistema de aquecimento solar, seguindo as exigências do termo de referência, estabelecidas para o programa Minha Casa, Minha Vida (BRASIL, 2011a). O conjunto coletor solar, reservatório térmico e mini caixa d'água está posicionado sobre o telhado, logo acima do banheiro. Neste posicionamento, o reservatório térmico é alimentado com água fria diretamente da rede pública de abastecimento.

A Figura 13 demonstra o sistema de aquecimento solar presente nas unidades do Residencial Vista Bela.

Figura 13 - Componentes do sistema de aquecimento solar adotado nas unidades térreas do Residencial Vista Bela.



Os componentes são: 1 – coletor solar, 2 – reservatório térmico, 3 – mini caixa d'água/redutor de pressão, 4 – tubulação de alimentação do reservatório térmico com água fria, 5 – tubulação de entrada de água fria no coletor solar, 6 – tubulação de saída de água quente do coletor solar, 7 – respiro, 8 – tubulação de saída de água quente para consumo, 9 – válvula elétrica anticongelamento.

O coletor solar plano possui área total de  $2,11 \text{ m}^2$  e área útil de absorção de  $1,94 \text{ m}^2$ . É composto por uma caixa em alumínio, isolamento térmico em poliestireno expandido, 16 tubos em cobre para aquecimento da água, placa absorvedora em alumínio com pintura preta fosca e vidro comum de espessura de 3 mm.

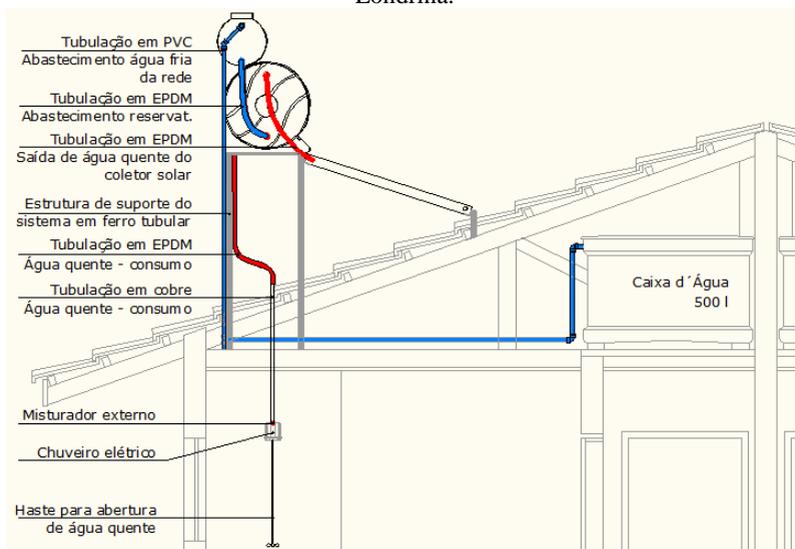
Segundo dados do INMETRO (2011a), o coletor solar possui etiqueta nacional de conservação de energia com nível B de eficiência, com produção média mensal de energia de  $152,70 \text{ kWh/mês}$  e eficiência energética de  $52,5\%$ . O coeficiente de ganho óptico do coletor solar ( $F_R(\tau\alpha)$ ) é igual a  $0,694$  e o coeficiente de perdas térmicas do coletor solar ( $F_R U_L$ ) igual a  $6,297$ .

O reservatório térmico, acoplado ao coletor solar, possui volume de 200 litros. O material do corpo interno é de aço inox e o isolamento térmico é de poliestireno expandido. Segundo INMETRO (2011b), a perda específica de energia mensal é de  $0,19 \text{ kWh/mês/litro}$ . Possui selo do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). O reservatório térmico é alimentado com água fria proveniente da rede de abastecimento, passando primeiro por uma mini caixa d'água plástica com volume de 22 litros.

As tubulações de alimentação do reservatório térmico com água fria e de circulação da água entre coletor e reservatório, são de borracha de etileno-propileno-dieno (EPDM) sem isolamento térmico. A tubulação de saída do reservatório térmico para o ponto de consumo inicia-se em EPDM com transição para uma tubulação em cobre com acabamento cromado, também sem isolamento térmico.

Todas as unidades receberam um suporte metálico o qual permite preservar a orientação do coletor solar para o norte geográfico. Segundo levantamento topográfico contratado pela construtora que executou as unidades, o desvio azimutal do coletor em relação ao norte é de  $+16^\circ$ . A Figura 14 demonstra um corte parcial de uma unidade habitacional com orientação do telhado para sul. A estrutura de suporte permitiu a orientação do coletor solar para o norte geográfico com desvio de  $+16^\circ$ . A inclinação, indicada em projeto fornecido pela Cohab-Ld, é de  $18^\circ$ . Já nos telhados orientados ao norte, o coletor solar assume inclinação de projeto igual a  $25^\circ$ .

Figura 14 - Corte parcial sem escala, com posicionamento do sistema de aquecimento solar em unidade habitacional do Residencial Vista Bela, Londrina.



Fonte: Adaptado de arquivo enviado pela Cohab-Ld (2012).

A NBR 15569 (ABNT, 2008) recomenda que a inclinação do coletor solar seja igual à latitude da cidade acrescida de  $10^\circ$ . Para Londrina, cuja latitude é de  $23,5^\circ$ , o ângulo de inclinação ideal seria de  $33,5^\circ$ , segundo a norma.

Nota-se pela Figura 14 diferenças entre os níveis da água fria e quente até o ponto de utilização. Com base nas dimensões em projeto, a pressão de água fria no ponto de utilização é de 1 m.c.a e a pressão de água quente até o ponto de utilização é de 2 m.c.a. Embora a perda de carga pela tubulação e componentes não tenha sido calculada, a grande diferença entre as pressões favorece que a água quente prevaleça na mistura da água do banho.

Outro ponto crítico refere-se à mistura da água para o banho, realizada por meio de um misturador externo à parede. Esta solução foi decorrente da decisão de inclusão do sistema somente quando as obras já se encontravam em fase final de execução, com o reboco das paredes já concluído. Embora o emprego de misturador externo não seja mais adotado na segunda fase do programa Minha Casa, Minha Vida, os projetos de eficiência energética das concessionárias de energia normalmente compreendem o uso de misturadores externos. A

instalação da tecnologia ocorre em moradias já habitadas e sem tubulações de água quente, repetindo a mesma solução adotada no Residencial Vista Bela.

Conforme demonstra a Figura 15, a tubulação de saída de água quente do reservatório térmico chega ao banheiro na parte externa da parede unindo-se ao misturador, na altura do chuveiro elétrico. O controle de abertura da água quente é feito por uma haste metálica. A água fria é proveniente da caixa d'água de 500 litros.

Figura 15 - Vista interna do banheiro de uma unidade habitacional do Residencial Vista Bela, com destaque para os registros de mistura da água do banho.



Assim como os demais sistemas de aquecimento solar subsidiados pelo governo federal, o presente não possui resistência elétrica no interior do reservatório térmico. O sistema auxiliar de aquecimento é o chuveiro elétrico. As unidades receberam um chuveiro elétrico com potência nominal de 4500 W, com três níveis de temperatura, sendo frio, morno e quente. Com a posição da chave ao centro (frio), a resistência elétrica permanece desligada. Com a chave na

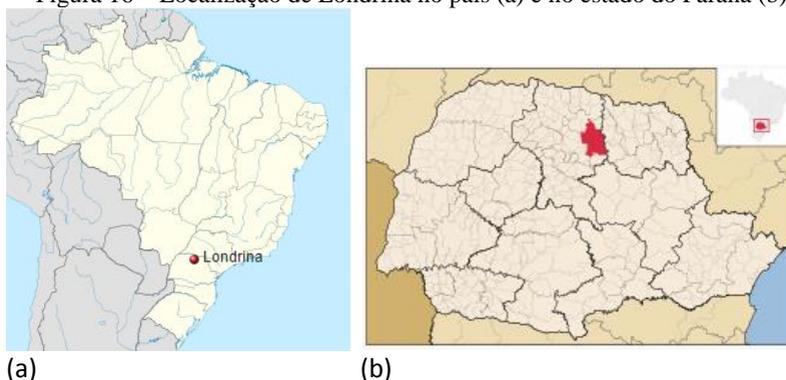
posição quente, a potência máxima é atingida e na posição morno, chega-se a potência nominal de 2800 W.

A válvula anticongelamento está presente no sistema de aquecimento solar em estudo devido às condições de baixa temperatura na cidade de Londrina, durante o inverno. Uma válvula elétrica está ligada ao circuito elétrico de iluminação das unidades habitacionais. Ela é acionada por um termostato sempre que a temperatura da água no coletor solar atinge 12°C. Com isso, ocorre a abertura da válvula e liberação da água contida nos tubos do coletor solar. O fechamento da válvula ocorre após a substituição da água eliminada por outra proveniente do reservatório térmico, com temperatura mais elevada.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR INCIDENTE NA REGIÃO

A cidade de Londrina, região norte do estado do Paraná, está situada entre as coordenadas 23°08'47" e 23°55'46" de Latitude Sul e entre 50°52'23" e 51°19'11" a Oeste de Greenwich. O Trópico de Capricórnio corta a cidade na latitude 23°27'S. A Figura 16 ilustra a localização da cidade no Sul do país (a) e no estado do Paraná (b).

Figura 16 – Localização de Londrina no país (a) e no estado do Paraná (b).



Fonte: Wikipédia (2015).

O Residencial Vista Bela situa-se nas coordenadas 23°16'10" de latitude Sul e, 51°12'10" a Oeste de Greenwich. A Figura 17 demonstra uma vista aérea da cidade de Londrina, com destaque para o conjunto habitacional em estudo.

Figura 17 - Vista aérea da cidade de Londrina com a localização do Residencial Vista Bela.



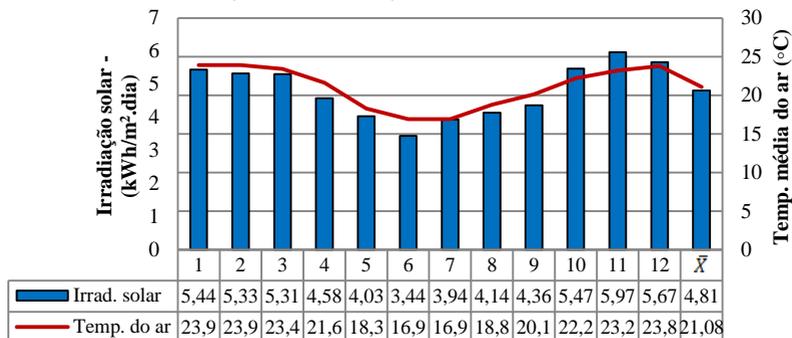
Fonte: Google Earth, acesso em 20/11/2012.

A base de dados de radiação solar do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB, 2015) contém dados de irradiação solar global diária, em média mensal, no plano horizontal ( $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{dia}$ ). Os dados baseiam-se no Atlas Solarimétrico do Brasil (TIBA, 2000), com medições realizadas em base terrestre. A base de dados apresenta os valores de irradiação solar global diária para Londrina, na latitude  $23^{\circ}18'00''\text{S}$  e longitude  $51^{\circ}09'46''\text{O}$ , distante 5,3 Km do conjunto habitacional em estudo.

O Instituto Agrônomo do Estado do Paraná – IAPAR (2015) apresenta dados de temperatura média do ar em média histórica, de 1976 a 2014, para a cidade de Londrina. De acordo com os dados, a cidade apresenta temperatura média anual do ar de  $21,1^{\circ}\text{C}$ , com máxima absoluta de  $39,2^{\circ}\text{C}$  obtida no ano de 1985 e mínima absoluta de  $-1,4^{\circ}\text{C}$  registrada em 2000.

A Figura 18 apresenta os dados de irradiação solar global diária no plano horizontal, em média mensal, e temperatura do ar em graus Celsius, para a cidade de Londrina. A irradiação solar mínima de  $3,44 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia}$  foi obtida no mês de junho e coincide com a temperatura mínima de  $16,9^{\circ}\text{C}$  obtida para o período de inverno. A irradiação solar máxima de  $5,97 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia}$  foi obtida no mês de novembro. Já as temperaturas médias máximas ocorrem em janeiro e fevereiro.

Figura 18 - Irradiação solar global diária horizontal, e temperatura média do ar (de 1976 a 2014) em Londrina.



Fonte: Construído a partir dos dados do CRESESB e IAPAR (2015).

Prates, Zaicovski e Guetter (2001), segundo o inventário de energia solar no Paraná, destacam que as regiões norte e oeste apresentam maior disponibilidade de energia solar dentre as demais regiões do estado. No Atlas Solarimétrico do Brasil (TIBA, 2000) viu-se que a irradiação solar global diária, em média mensal para o mês de dezembro na região de Londrina, é similar a muitas regiões do nordeste.

As condições de irradiação solar demonstram, portanto, o potencial do norte do Paraná para adoção de tecnologias que aproveitam a energia solar tanto para aquecimento quanto para geração de energia elétrica.



## **4 AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE RESULTADOS DE ECONOMIA COM BASE NA TÉCNICA DE ANÁLISE DE AGRUPAMENTO**

### **4.1 INTRODUÇÃO**

Este capítulo compreende uma avaliação preliminar de resultados de economia de energia obtidos em unidades habitacionais do Residencial Vista Bela. A avaliação baseia-se na técnica de monitoramento não instrumentado, combinada com uma análise qualitativa realizada por meio de entrevistas com usuários. Os resultados de economia foram obtidos com base em dados de consumo total na unidade, fornecidos pela concessionária de energia e pelos usuários. Dois objetivos nortearam esta etapa de estudo:

(a) Compreender como as famílias usam o sistema, quais os problemas e benefícios existentes neste contexto de análise, quais as percepções de economia e quais os fatores de influência no uso do sistema;

(b) Identificar subgrupos homogêneos no que diz respeito aos fatores socioeconômicos, de consumo e comportamentais.

Visando reduzir a variabilidade socioeconômica e de histórico de consumo existente no contexto de análise e entender os resultados de economia, 200 famílias analisadas no Residencial Vista Bela foram organizadas em subgrupos homogêneos. Para isso, foi aplicada a técnica de análise de agrupamento. Caracteriza-se por uma técnica multivariada de dados, que classifica objetos (casos, respondentes) de modo que cada objeto é semelhante ao outro a partir de um conjunto de características (HAIR et al., 2009). O conjunto de objetos semelhantes, agregados com base na medida de distância, define o agrupamento. Assim, objetos contidos em um grupo devem ser semelhantes entre eles e dissemelhantes aos objetos contidos nos demais grupos (HAN; KAMBER, 2006). Os subgrupos homogêneos foram identificados com base nos fatores de influência na economia de energia elencados. Desta forma, as variáveis sociais, econômicas e de consumo puderam ser relacionadas com os diferentes resultados de economia obtidos neste contexto.

## 4.2 MÉTODO DE PESQUISA

### 4.2.1 Compreensão do contexto envolvido

Foram realizadas entrevistas com 200 famílias moradoras do Residencial Vista Bela. O objetivo foi compreender o contexto que envolve o uso do sistema de aquecimento solar pela população de baixa renda, identificar a variabilidade socioeconômica e de consumo existente e elencar um conjunto de características que definem os agrupamentos. Para a realização das entrevistas foi desenvolvido um questionário estruturado com 47 perguntas fechadas (APÊNDICE A). As questões foram elaboradas com base nos estudos de influência do usuário no consumo de energia (POLINDER; AA, 2011), nos estudos sobre hábitos de conservação de energia (BARR; GILG; FORD, 2005); nas experiências com a inserção de coletores solares em habitação interesse social (FANTINELLI, 2006); e nas recomendações técnicas de sistemas de aquecimento solar para habitações de interesse social (SOUZA; ABREU, 2009).

O questionário foi dividido em cinco partes, sendo:

- (a) Composição familiar, com questões ligadas ao número de ocupantes, idade, grau de escolaridade e tempo de moradia;
- (b) Hábitos de consumo de água quente, registrando a rotina de banho de cada membro da família, incluindo horário, tempo e frequência de banho. Esta parte também abrange questões relativas ao sistema de aquecimento que o proprietário possuía na antiga moradia assim com mudança de hábitos de banho na nova moradia;
- (c) Nível de satisfação e condições de operação e manutenção do sistema pela família. Esta etapa envolve questões relativas à dificuldade de uso do sistema auxiliar de aquecimento e de mistura da água do banho. Envolveu também questões sobre os problemas que já ocorreram e se já houve a manutenção de algum componente do sistema;
- (d) Hábitos de conservação de energia e água do banho, energia elétrica e de conservação ambiental. Este último item foi inserido com o objetivo de compreender, de uma maneira mais subjetiva, como os usuários de baixa renda lidam com esta questão;
- (e) Fatores socioeconômicos: Envolveu questões ligadas à renda familiar, consumo de energia elétrica e de água (registro

fotográfico da última conta), se a família considera cara a conta de energia, e a declaração do valor da conta de energia elétrica na antiga moradia.

Em campo, no início de março de 2012, um questionário preliminar (pré-teste) foi aplicado em três unidades habitacionais escolhidas no local. O objetivo era nivelar termos populares, ajustar eventual questão não compreendida pela comunidade, inserir novas questões e novas possibilidades de respostas. Foi identificada a dificuldade de mistura da água do banho em dias de alta temperatura. Com isso, uma questão específica sobre a mistura da água do banho foi inserida. Ajustes nas respostas também foram necessários. Por exemplo, na questão 5.8 do questionário (APÊNDICE A):

Quanto o(a) senhor(a) gastava com energia elétrica na sua antiga moradia?

As respostas foram ampliadas buscando a variabilidade que existe no contexto. As opções foram:

- (a) cerca de \_\_\_\_\_;
- (b) unidade não conectada na rede elétrica;
- (c) não pagava - tarifa social de energia elétrica<sup>6</sup>;
- (d) não pagava - ligação clandestina na rede.

O estudo se limitou à investigação de unidades habitacionais térreas que se encontravam em uso por pelo menos seis meses, o que totalizou 694 unidades das 1272 existentes. Tal limitação permitiu a captura de informações relativas aos usuários já com hábitos de uso da tecnologia. Fez-se o dimensionamento da amostra baseada na equação 5, para população finita (FERREIRA, 2009).

$$n = \frac{(Z_{\alpha/2})^2 \hat{p}\hat{q}N}{e_0^2(N-1) + (Z_{\alpha/2})^2 \hat{p}\hat{q}} \quad (5)$$

Onde:

$n$  = tamanho da amostra;

$N$  = o tamanho da população = 694;

---

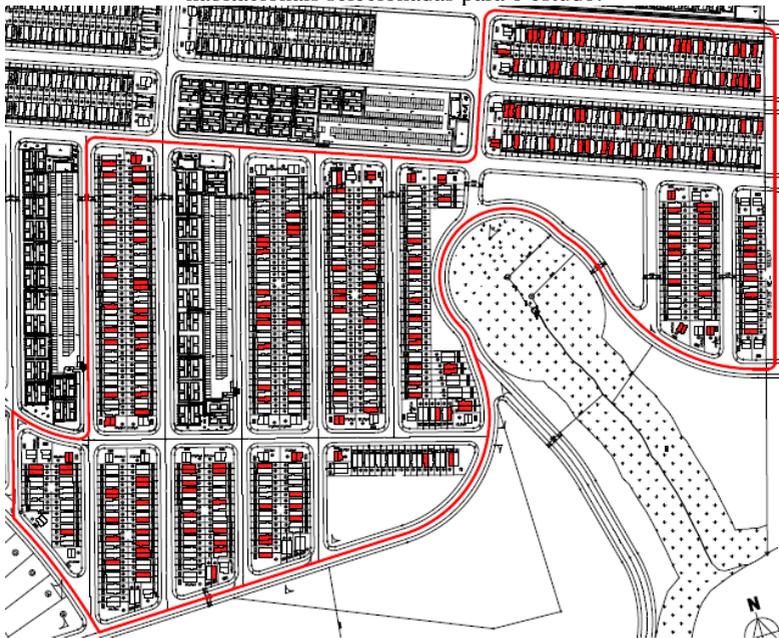
<sup>6</sup> Neste caso, a família consome até 100 kWh de energia elétrica por mês sendo 100% subsidiada pelo governo do estado do Paraná.

$\hat{p} = \hat{q} = 0,5$  = proporção amostral desconhecida;  
 $Z_{\alpha/2} = 1,96$  = nível de confiança de 95%;  
 $e_0$  = erro de 6%.

Com o erro de 6% e nível de confiança de 95% chegou-se a uma amostra de 200 unidades habitacionais a serem estudadas.

Um conjunto composto por 694 números entre um e 694 foram aleatoriamente gerados no software Excel<sup>7</sup>. Os 200 primeiros compuseram a amostra a ser analisada. Os números correspondem à localização das unidades habitacionais no conjunto habitacional. A Figura 19 demonstra uma implantação parcial do Residencial Vista Bela, com os limites da área de estudo destacados em vermelho bem como as unidades habitacionais selecionadas para a realização das entrevistas.

Figura 19 - Implantação parcial do Residencial Vista Bela com as unidades habitacionais selecionadas para o estudo.



Fonte: adaptado de Cohab (2012).

<sup>7</sup> Uso da função =ALEATÓRIOENTRE(1;694).

As entrevistas foram realizadas no período de março a julho de 2012. Estas tiveram o apoio de três pesquisadores. Cerca de quatro entrevistas foram realizadas com a presença de todos os pesquisadores. Posteriormente, duas duplas foram formadas. Ao final, apenas dois pesquisadores conduziram as entrevistas individualmente. Foi necessário o uso dos finais de semana e feriados para a realização das entrevistas nas unidades escolhidas. Isso porque muitas se encontravam vazias durante os dias úteis, ou porque havia apenas a presença de crianças e adolescentes. As unidades que se encontravam fechadas, tanto nos dias úteis como nos finais de semana, foram descartadas da amostra e substituídas com base na sequência aleatória definida pelo software Excel.

Conforme orientação do comitê de ética em pesquisas humanas da Universidade Estadual de Londrina<sup>8</sup>, no momento das entrevistas foi entregue uma cópia do termo de consentimento livre e esclarecido - TCLE. O documento (APÊNDICE B) contém informações sobre a pesquisa e sua importância, dados do pesquisador, identificação do usuário e assinatura do mesmo.

As entrevistas duravam, em média, 30 minutos cada uma. Uma das etapas contidas no questionário era entrar nas unidades habitacionais, manusear o sistema e questionar o usuário sobre a forma como ele realiza a mistura da água. Esta vivência com a família demandou mais tempo para aplicação do questionário no início das entrevistas. Ao final, as percepções, dúvidas e problemas que as famílias declaravam eram melhor compreendidos e respondidos.

As contas de energia elétrica e água eram solicitadas durante as entrevistas e o registro fotográfico das mesmas foi realizado. Muitas vezes, foi preciso retornar às unidades para obtê-las. Ao final, foi elaborada uma listagem com o número de identificação das 200 unidades habitacionais junto às concessionárias de energia e água, o que permitiu a obtenção de dados de consumo do período de janeiro a junho de 2012. Dados referentes a quatro unidades habitacionais não foram localizados pela concessionária de energia, indicando que novos moradores ocupavam as mesmas. Com isso, estes questionários foram descartados e novamente em campo, quatro novas entrevistas foram realizadas.

---

<sup>8</sup> A autora é docente da referida instituição tendo o apoio do comitê de ética em pesquisas para a realização da mesma.

#### **4.2.2 Determinação de resultados estimados de economia de energia**

A economia estimada na conta de energia elétrica foi obtida considerando:

- (a) Linha de Base (cenário sem sistema de aquecimento solar): O valor médio mensal da conta de energia na antiga moradia, informado durante as entrevistas, representa um dado estimado declarado pelo entrevistado, se referindo a um valor médio mensal representativo de um ano;
- (b) Período de determinação da economia de energia (cenário com sistema de aquecimento solar): O valor médio mensal da conta de energia na moradia com sistema de aquecimento solar, obtido com base nos meses de janeiro a junho de 2012, medidos pela concessionária de energia elétrica local.

A diferença entre os dois valores caracteriza a economia estimada na conta de energia elétrica.

#### **4.2.3 Definição do conjunto de atributos**

O conjunto de características ou atributos que representa as famílias a serem agrupadas é o ponto chave nos estudos que envolvem a análise de agrupamento porque depende unicamente das especificações do pesquisador. Os agrupamentos formados devem garantir forte suporte teórico inicial. Se possível, a análise de agrupamento deve ser aplicada de modo confirmatório, identificando grupos que já têm uma fundamentação conceitual estabelecida quanto à sua existência (HAIR et al., 2009). Neste estudo, o termo atributo foi adotado para representar uma característica (variável) de um dado objeto (família), termo comumente aplicado às técnicas de análise agrupamento (HAN; KAMBER, 2006).

Os resultados do levantamento de dados realizado em 200 unidades habitacionais foram apresentados em agosto de 2012 em reunião com o grupo GT-Solar no Ministério do Meio Ambiente em Brasília. Estavam presentes os principais responsáveis pela inclusão do sistema no programa Minha Casa, Minha Vida, dentre eles integrantes da Caixa Econômica Federal, do Ministério do Meio Ambiente, do Centro Universitário UNA, Eletrobrás e Inmetro. Os problemas e resultados estimados de economia puderam ser relatados. Na ocasião, os

estudos de análise da satisfação e de percepção de economia realizados pela Caixa Econômica Federal em parceria com o Centro Universitário UNA, em empreendimentos com sistema de aquecimento solar do programa Minha Casa Minha Vida, também foram disseminados. Posteriormente, em outubro de 2012, os mesmos resultados apresentados em Brasília, foram expostos em uma reunião em Londrina, na Gerência de Desenvolvimento Urbano da Caixa Econômica Federal. Estavam presentes, engenheiros civis da Caixa Econômica Federal, as construtoras envolvidas no programa Minha Casa, Minha Vida, dentre elas as que executaram o conjunto habitacional em análise, assistentes sociais, e representantes de fabricantes de sistemas de aquecimento solar de água.

A interface entre os principais envolvidos com o tema assim como a experiência obtida no estudo com 200 famílias possibilitaram selecionar, a partir do levantamento de dados, um conjunto de 27 atributos subdivididos entre seis fatores que afetam a economia de energia em sistemas de aquecimento solar.

#### 4.2.4 Pré-processamento dos dados

A presença de dados qualitativos, assim como a diferença de escala de valores contida nos atributos, exigiram o nivelamento dos dados. Primeiramente, todos os atributos binários e ordinais foram transformados em atributos numéricos. Posteriormente, a diferença de escala de valores foi nivelada por meio da distribuição normal padrão. Por exemplo, a renda familiar é composta por dados que variaram de 0 a 1181, enquanto que o número de banhos no horário de pico variou apenas de 0 a 7, ou ainda os atributos binários, com variação de 0 a 1. Assim, 5400 dados amostrais foram transformados em valores da normal padrão, a partir da equação 6.

$$Z_i = \frac{x_i - \bar{X}_N}{s} \quad (6)$$

Onde:

$Z_i$  = número de desvios padrões a contar da média;

$x_i$  = valor real a ser transformado;

$\bar{X}_N$  = valor médio do atributo relativo aos 200 dados;

$s$  = desvio padrão.

Para o cálculo da distribuição normal padrão foi necessário obter todas as respostas. Algumas questões não foram preenchidas, ou por esquecimento ou por desconhecimento do entrevistado. Os casos foram identificados para que novamente em campo as questões pudessem ser respondidas, quando necessário, por outro membro da família.

#### 4.2.5 Processo de partição

A formação dos agrupamentos, assim como o cálculo da distribuição normal padrão foi procedida através do software SPSS<sup>9</sup> 20 (IBM, 2011). Dentre as diferentes técnicas existentes na análise de agrupamento, utilizou-se o algoritmo de K-médias. Nesta técnica, o número de agrupamentos que se deseja obter é previamente fornecido, e o centro do grupo é representado pelo valor médio dos objetos contidos no mesmo (HAIR et al., 2009).

Após a padronização dos dados, o processo de partição foi efetuado, tendo como medida de similaridade entre os objetos, a distância Euclidiana. A medida é definida como a soma da raiz quadrada da diferença entre os atributos, em suas respectivas dimensões, conforme a equação 7:

$$d(x, y) = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \dots + (x_n - y_n)^2} \quad (7)$$

Onde:

$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  e  $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$  são famílias (casos) e os numerais correspondem aos atributos do estudo.

Inicialmente, foi especificado o número de agrupamentos K. A partição se iniciou com a escolha aleatória de objetos representando os centros iniciais de cada agrupamento. Cada objeto (família) foi relacionado ao seu grupo com base na sua distância Euclidiana e do centro do grupo a que está mais próximo. Posteriormente, o centro de cada grupo é atualizado com base no valor médio dos objetos contidos nele. Com novos centros dos agrupamentos formados, os objetos são novamente redistribuídos nos grupos em que estão mais próximos do seu centro. Através do processo de iteração, novos reposicionamentos de objetos ocorrem até a inexistência de mudanças nos centros dos agrupamentos.

---

<sup>9</sup> nome originalmente proveniente de Statistical Package for the Social Sciences.

Sabe-se que menos agrupamentos pressupõe menos homogeneidade dentro do grupo enquanto que um grande número de agrupamentos reflete na maior homogeneidade interna (HAIR et al., 2009). Com o objetivo do estudo em identificar subgrupos homogêneos que possam ser investigados por medição, a meta foi encontrar uma estrutura básica coerente com o contexto, com poucos agrupamentos, e ao mesmo tempo, conseguir um nível de heterogeneidade satisfatório entre eles. Para isso, várias simulações iniciais foram realizadas para diferentes K ou números de agrupamentos.

A estruturação de um diagrama de perfil relacionando os atributos no eixo das abcissas e seu respectivo valor da distribuição normal padrão média no eixo das ordenadas, permitiu entender a estrutura lógica final de subdivisão dos grupos, a caracterizar o agrupamento com base nos seus atributos, e ajudar na detecção das observações atípicas.

Na análise de agrupamento, observou-se que a aplicação do método com  $K = 8$  organizou os dados de modo a se obter cinco agrupamentos representativos, coerentes com o contexto analisado. Os outros três agrupamentos compreenderam famílias com características atípicas em relação ao restante da amostra. Um desses grupos foi formado por uma única família composta por um casal de idosos cujo consumo de energia elétrica de 385,5 kWh/mês estava bem acima do consumo das demais famílias. Com isso, o atributo apresentou mais de cinco desvios padrões acima da média. Neste caso, a família realizava a venda de bebidas, com posses de freezers e geladeiras, o que elevou o valor da conta de energia. Outro grupo, composto por dois casos apenas, apresentava famílias com grande número de pessoas, sendo uma delas com 11 membros. Para este atributo, a média normalizada manteve-se superior a três desvios padrões atestando sua atipicidade neste contexto. Por fim, o terceiro agrupamento representado por nove casos agregou famílias com predomínio de sete a oito pessoas e sem uma estrutura lógica bem definida.

Esta etapa de pesquisa permitiu não somente identificar cinco agrupamentos representativos, mas também demonstrou a existência de observações atípicas necessárias de serem extraídas da amostra anterior ao processo de formação dos agrupamentos. Para isso, aplicou-se a medida  $D^2$  de Mahalanobis. É uma medida adotada em técnicas multivariadas, a qual mede a distância de cada observação (família) em um espaço multidimensional a partir do centro médio de todas as observações. Quanto mais elevado for o valor de  $D^2$  mais distante está a

observação do centro (HAIR et al., 2009). A distância de Mahalanobis foi calculada por meio do software SPSS com base na equação 8.

$$D_M = \sqrt{(X_i - \bar{X}_N)^T S^{-1} (X_i - \bar{X}_N)} \quad (8)$$

Onde:

$X_i$  é o valor real do atributo em cada caso;

$\bar{X}_N$  é o valor médio do atributo relativo aos 200 casos;

T = Matriz transposta;

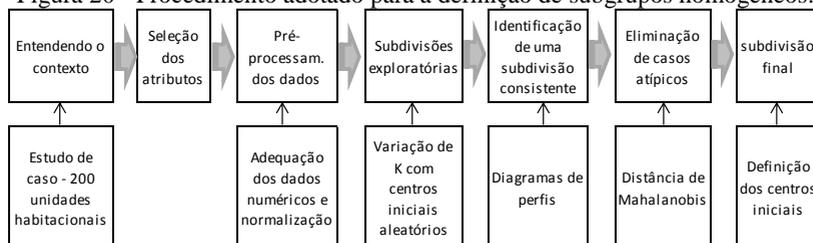
$S^{-1}$  = Matriz de covariância inversa.

Foram consideradas observações atípicas aquelas cujo valor-p para a distância  $D^2$  de Mahalanobis foi menor do que 0,001. Chegou-se em seis observações atípicas, sendo que cinco delas estavam contidas em um dos três agrupamentos atípicos gerados na partição com  $K=8$ .

Após a eliminação das observações atípicas, uma nova padronização dos dados foi realizada com base em 194 casos. Simulando com  $K=5$  os agrupamentos foram novamente formados, mas ao contrário da primeira simulação, os centros iniciais de cada agrupamento foram definidos como dado de entrada no software SPSS preservando a estrutura lógica encontrada na primeira simulação. Para isso os centros de cada agrupamento foram identificados na primeira simulação com 200 casos e  $K=8$ , e compuseram o arquivo de entrada referente aos centros iniciais de cada agrupamento. Simulando com  $K=5$  observou-se que a mesma estrutura lógica da primeira simulação se mantinha com poucos deslocamentos de casos entre os grupos.

Na Figura 20 tem-se um resumo com o procedimento adotado para a definição dos cinco subgrupos homogêneos obtidos no estudo.

Figura 20 - Procedimento adotado para a definição de subgrupos homogêneos.



A divisão das 194 unidades em subgrupos homogêneos permitiu obter diferentes resultados de economia de energia, e também relacioná-

los aos fatores de influência. Aplicando este método, foi possível formular hipóteses sobre as causas da economia de energia obtida. Tais hipóteses puderam ser confirmadas ou não, por meio da medição.

### 4.3 RESULTADOS

#### 4.3.1 Caracterização do contexto com base no conjunto de atributos

Considerando que o sistema de aquecimento solar implantado nas unidades do Vista Bela é o mesmo para todas as unidades, assim como as instalações hidráulicas, a orientação solar dos coletores solares e a condição climática, os atributos foram elencados com base em seis fatores de influência na economia de energia. São eles:

- (a) Composição e características familiares;
- (b) Fatores sociais e econômicos;
- (c) Histórico de consumo de energia;
- (d) Hábitos de consumo relacionados ao banho;
- (e) Nível de satisfação e operação do sistema e;
- (f) Consumo de energia e água.

A Tabela 3 expõe o conjunto formado por 27 atributos divididos entre os fatores de influência. Também são identificados os atributos numéricos, ordinais e binários e as respectivas conversões para a categoria numérica.

Tabela 3 - Fatores de influência na economia de energia

Fatores de influência	Atributo	Categoria	Valor/unidade	
(A) Composição e características familiares	1	Nº de pessoas na unidade	Númérico	
	2	Nº de crianças (até 12 anos)	Númérico	
	3	Nº de adolescentes (de 13 a 18 anos)	Númérico	
	4	Nº de idosos (60 anos ou mais)	Númérico	
	5	Idade do proprietário	Númérico	
	6	presença do cônjuge	Binário	sim - 1 / não - 0
(B) Fatores sociais e econômicos	7	Grau de escolaridade	Ordinal	nunca estudou - 0 / ensino fundamental incompl. - 1/ ensino fundamental - 2/ ensino médio incompl. - 3/ ensino médio - 4 / educação superior incompl. - 5/ educação superior - 6
	8	Acesso ao veículo	Binário	sim - 1 / não - 0
	9	Renda familiar	Númérico	R\$
	10	A conta de energia elétrica é cara?	Binário	sim - 1 / não - 0
	11	Significado da ENCE <sup>A</sup>	Binário	sim - 1 / não - 0
(C) Histórico de Consumo de Energia	12	Pagava a conta de energia na antiga moradia?	Binário	sim - 1 / não - 0
	13	Possuía chuveiro elétrico?	Binário	sim - 1 / não - 0
	14	Valor mensal da conta de energia na antiga moradia <sup>B</sup>	Númérico	R\$
(D) Hábitos de consumo relacionados ao banho	15	Nº de banhos antes das 10:00	Númérico	
	16	Nº de banhos após as 10:00	Númérico	
	17	Nº de banhos no período da tarde	Númérico	
	18	Nº de banhos entre 18:00 e 21:00 (pico)	Númérico	
19	Nº de banhos após as 21:00	Númérico		
20	Mudanças relacionadas ao banho	Binário	sim - 1 / não - 0	
(E) Nível de Satisfação e Operação do sistema	21	Nível de satisfação com o SAS	Ordinal	insatisfeito - 0 / pouco satisfeito - 1 / satisfeito - 2 / muito satisfeito - 3
	22	Está usando o sistema?	Binário	sim - 1 / não - 0
	23	Dificuldade para misturar a água	Binário	sim - 0 / não - 1
(F) Consumo de Energia e Água	24	Consumo mensal de energia <sup>C</sup>	Númérico	kWh
	25	Consumo mensal de água <sup>C</sup>	Númérico	m <sup>3</sup>
	26	Conta mensal de energia <sup>C</sup>	Númérico	R\$
	27	Economia na conta de energia <sup>D</sup>	Númérico	R\$

<sup>A</sup> ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia /Resposta envolve a explicação do significado da etiqueta

<sup>B</sup> Dado médio declarado pela família, em moradia sem SAS.

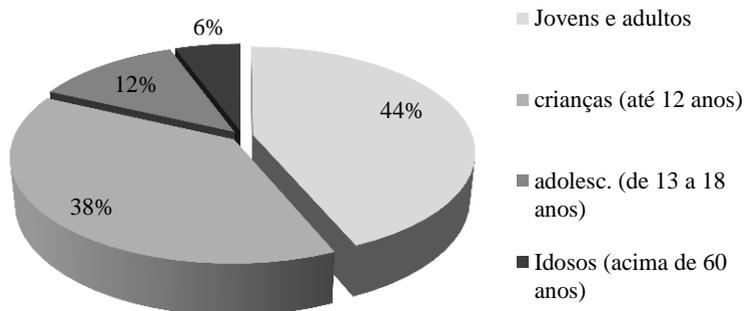
<sup>C</sup> Média de seis meses de consumo medidos pela concessionária, em moradia com SAS.

<sup>D</sup> Valor do atributo 14 subtraído do valor do atributo 26

A seguir, tem-se a caracterização do contexto com base nos seis fatores de influência elencados.

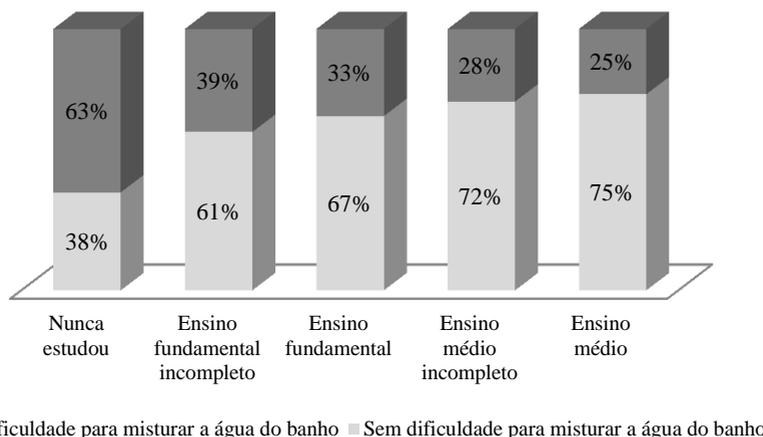
(A) Composição e Características familiares: Compreende seis atributos de análise sendo eles o número de pessoas na unidade habitacional, número de crianças, adolescentes, e de idosos, a idade do proprietário, e presença do cônjuge. A população envolvida na análise compreende um grande número de crianças que corresponde a 38% da população, conforme demonstra a Figura 21. Durante as entrevistas foi observado que a presença de crianças na família favorece uma frequência maior de banhos ao longo do dia. Entretanto, quem controla a temperatura e o tempo de banho é o responsável pela criança. Já nas unidades com adolescentes, os quais já assumem o controle do sistema de aquecimento, maiores tempos de banho são relatados. Quanto aos idosos, estes relataram com frequência a dificuldade de uso do sistema, motivada tanto pelo baixo nível de escolaridade quanto pela sua dificuldade em assimilar uma nova tecnologia.

Figura 21 - Perfil da população envolvida na análise



(B) Fatores sociais e econômicos: Compreendem cinco atributos de influência sendo eles, o nível de escolaridade, posse de veículo, renda familiar, se considera cara a conta de energia, e se conhece o significado da etiqueta nacional de conservação de energia - ENCE. O atributo “nível de escolaridade” está fortemente ligado ao domínio para operação do sistema. Entrevistados com maior nível de escolaridade declararam com menor frequência a dificuldade para misturar a água do que aqueles que pouco estudaram, aspecto ilustrado na Figura 22.

Figura 22 - Relação entre o nível de escolaridade e a dificuldade para misturar a água do banho pelos moradores do Residencial Vista Bela em amostra de 200 unidades.



Usuários sem estudos são frequentes neste contexto de investigação. Na presente pesquisa, 9% dos entrevistados nunca estudaram e 53% não concluíram o primeiro grau do ensino fundamental.

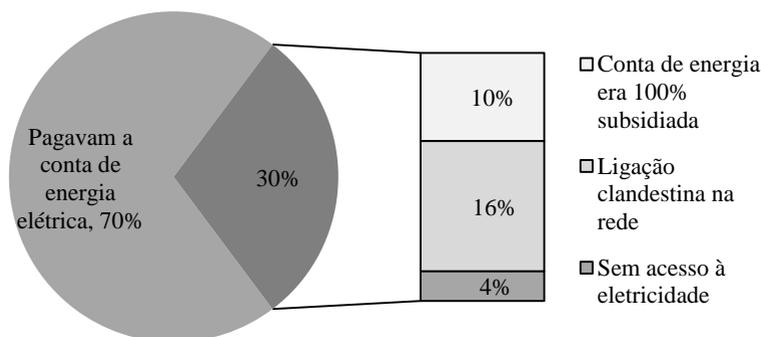
No âmbito analisado, o comportamento de conservação de energia e água tem forte relação com resultados de economia e não com a preocupação ambiental, como observado em Barr, Gilg e Ford (2005). A preocupação da família em tomar banhos mais rápidos está ligada à meta de reduzir a conta de água e se enquadrar dentro das limitações impostas para tarifa social. Da mesma forma, a preocupação em apagar as luzes durante o dia se reflete como medida de economia de energia para redução da conta mensal. No entanto, é comum o uso de lâmpadas incandescentes assim como de eletrodomésticos já usados, de maior consumo energético, devido ao baixo custo dos mesmos.

O atributo ligado ao acesso ao sistema de subsídio na conta de energia e água não foi inserido no conjunto. Isso porque o benefício atinge a maioria da população de baixa renda e também porque o acesso ao subsídio varia ao longo do ano. Dados fornecidos pelas concessionárias demonstram a instabilidade do acesso ao benefício a uma mesma família, ao longo de seis meses, que ora está incluída e ora não. O acesso ao benefício de tarifação social promovido pela concessionária de energia local atua como um grande fator de

interferência no uso do sistema. Famílias com até quatro membros, com o uso do sistema de aquecimento solar, têm uma maior facilidade para se enquadrar no consumo de até 100 kWh, devido à redução do uso do chuveiro elétrico. Com isso o uso da tecnologia é motivado pela meta de se zerar a conta de energia. Por outro lado, existem famílias que não sabem ou não se lembram que estão recebendo subsídio.

(C) Histórico de consumo de energia: Contempla três atributos que permitem caracterizar o consumo de energia na antiga moradia. Dois atributos são binários sendo eles, se pagava ou não a conta de energia na antiga moradia e, se possuía chuveiro elétrico. O terceiro atributo é o valor pago na conta de energia na antiga moradia. O dado constituiu a linha de base para obtenção de resultados preliminares de economia. Avaliar o potencial de economia do sistema de aquecimento solar em unidades sem histórico de consumo de energia é um desafio neste contexto. Na Figura 23 pode ser visto que 16% das famílias moradoras do Residencial Vista Bela não pagavam a conta de energia elétrica na antiga moradia porque praticavam ligação clandestina na rede.

Figura 23 – Condições de pagamento da conta de energia elétrica na antiga moradia em amostra de 200 unidades habitacionais do Residencial Vista Bela.



Na nova unidade habitacional, as famílias que praticavam ligação clandestina na rede adquirem o compromisso do pagamento da conta de energia, de água (paga anteriormente pelo município) e da prestação da casa própria. O sistema de aquecimento solar se insere neste contexto favorecendo que a conta de energia elétrica não seja impactante financeiramente. No entanto, o seu benefício pode não ser visível ao usuário devido ao desconhecimento do custo da energia que consumia

anteriormente. Ainda em relação à Figura 23, dos 30% das famílias que não pagavam a conta de energia elétrica na antiga moradia, 4% declaram que não tinham acesso à eletricidade e, 10% responderam que conseguiam zerar a conta de energia na antiga moradia porque consumiam até 100 kWh por mês.

(D) Hábitos de banho com o sistema de aquecimento solar: Contempla seis atributos de influência. O número de banhos no período da manhã (até às 10h), após as 10h, no período da tarde, no horário de pico (entre 18h e 21h), e número de banhos após as 21h, caracteriza o período do dia de maior demanda de água quente. Os itens não levam em consideração a duração do banho declarado que, em muitos casos levantados, resultaram em informações imprecisas. Já o período do dia em que tomam banho, embora seja uma informação declarada que também carrega imprecisão, demonstra a preferência pelos horários de banho ao longo do dia. A mudança de hábitos de banho na moradia atual também foi inserida no conjunto permitindo entender como este atributo interage com o conjunto.

(E) Nível de satisfação e operação com o sistema de aquecimento solar: Contempla a relação de satisfação entre o usuário e a tecnologia. Compreende três atributos de análise. O primeiro refere-se propriamente ao nível de satisfação geral do entrevistado com o sistema, chegando a 80% no caso analisado. Entretanto, observou-se que neste contexto, o grau de exigência em relação ao sistema não é muito alto. A dificuldade para misturar a água do banho é declarada por 63% dos entrevistados. Também foi identificada a dificuldade para manuseio do registro de água quente devido aos frequentes choques ocasionados pela instalação incorreta do chuveiro elétrico. Muitos destes problemas motivaram o uso frequente do chuveiro elétrico, mesmo com a disponibilidade de água quente do sistema de aquecimento solar, afetando assim a economia de energia. Em muitos casos, estes problemas favoreciam a resposta “satisfeito” ao invés de “muito satisfeito”, o que na análise de satisfação é considerado como usuários satisfeitos com a tecnologia. Outra situação é que o nível de satisfação pode ser omitido pela motivação geral do entrevistado na aquisição de uma moradia. Assim, outros dois atributos de influência foram incluídos nesta categoria a fim de compreender melhor a relação do usuário com a tecnologia. São eles: “uso do sistema pela família” e “dificuldade para misturar a água do banho”.

(F) Consumo de energia e água: Abrange as médias mensais da conta de energia elétrica, do consumo de energia elétrica e do consumo de água, fornecidos pelas concessionárias. Os dados referem-se ao

período de janeiro (verão) a junho (inverno) de 2012, compreendendo uma diversidade climática representativa, com temperatura média horária mínima de 6°C e máxima de 35,8°C.

Segundo os dados de consumo mensal de energia elétrica e água, a maioria das famílias consome até 100 kWh/mês (Figura 24) e 10 m<sup>3</sup> de água (Figura 25).

Figura 24 - Consumo médio mensal de energia elétrica (período de janeiro a junho de 2012) pelos moradores do Residencial Vista Bela em amostra de 200 unidades habitacionais.

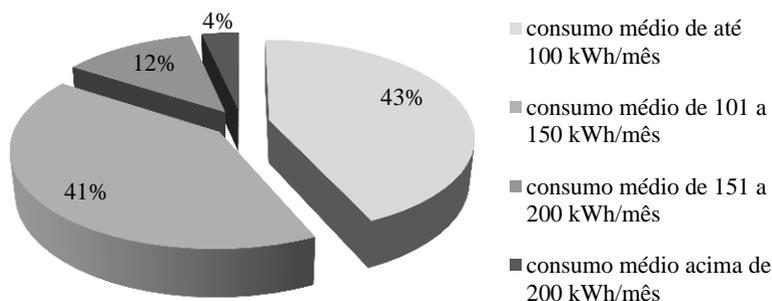
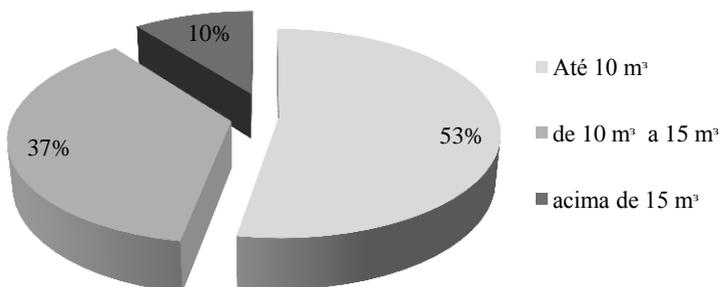
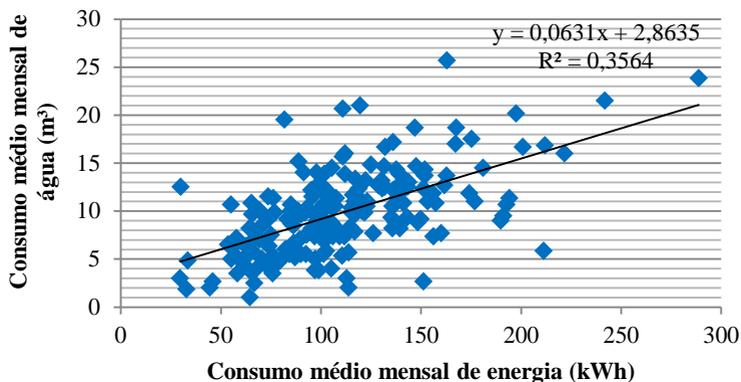


Figura 25 - Consumo médio mensal de água (período de janeiro a junho de 2012) pelos moradores do Residencial Vista Bela em amostra de 200 unidades habitacionais.



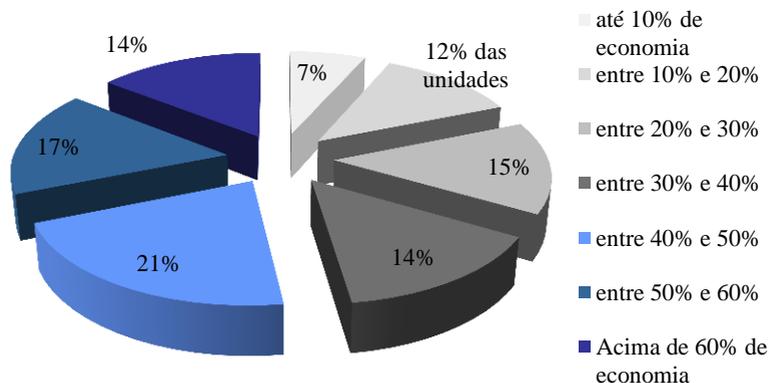
Observou-se nível moderado de correlação entre os consumos de energia e água, conforme ilustra a Figura 26. Famílias com alto consumo de energia consomem também grande quantidade de água.

Figura 26 - Correlação entre consumo mensal de energia elétrica e de água em amostra de 200 unidades habitacionais.



O último atributo adotado neste estudo é a “economia na conta de energia”, e se refere ao resultado estimado de economia obtido no estudo. Resultados positivos de economia de energia foram obtidos em 47% dos casos estudados. Destes, 21% obtiveram economia na conta de energia entre 40 e 50%, conforme demonstra a Figura 27.

Figura 27 - Porcentagem de economia na conta de energia em amostra de 200 unidades habitacionais, referente aos dados mensais de consumo de energia medidos de janeiro a junho de 2012.

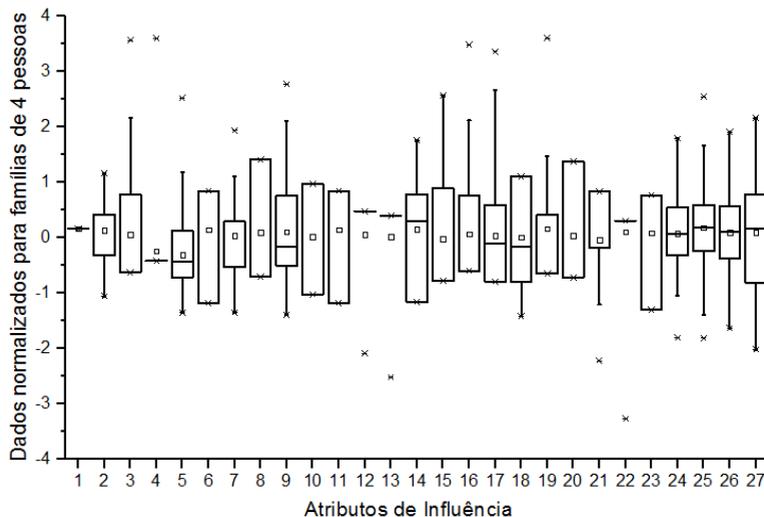


Durante as análises em campo observou-se que famílias com alto consumo de energia têm dificuldade na percepção de economia obtida com o sistema de aquecimento solar. Isso pode ter refletido no grande

número de comentários: “Eu estou gastando aqui o mesmo que gastava antes”, percepções que eram esperadas a princípio, apenas pelas famílias de menor composição. Nestas condições, qualquer dificuldade no manuseio do sistema pode tornar vulnerável a sua utilização.

Através do diagrama de caixa da Figura 28, a variabilidade socioeconômica e de consumo pode ser atestada devido a grande dispersão de dados relativos aos atributos de influência<sup>10</sup>.

Figura 28 - Variabilidade dos 27 atributos de influência em famílias de quatro pessoas, em amostra de 200 unidades habitacionais do Residencial Vista Bela.



A variabilidade se mantém mesmo quando analisada apenas as famílias compostas por quatro pessoas. Nos atributos diretamente relacionados com o consumo de energia e água (14, 24, 25, 26 e 27), assim como nos atributos ligados aos aspectos sociais e econômicos como o grau de escolaridade (7) e renda familiar (9), percebe-se uma grande variação dos dados, chegando a oscilar de dois desvios padrões abaixo da média até dois desvios padrões acima da média. Demonstra-se desta forma, uma grande diversidade na amostra.

<sup>10</sup> Os 27 atributos se encontram listado na tabela 3 e Figura 29.

### 4.3.2 Subgrupos homogêneos

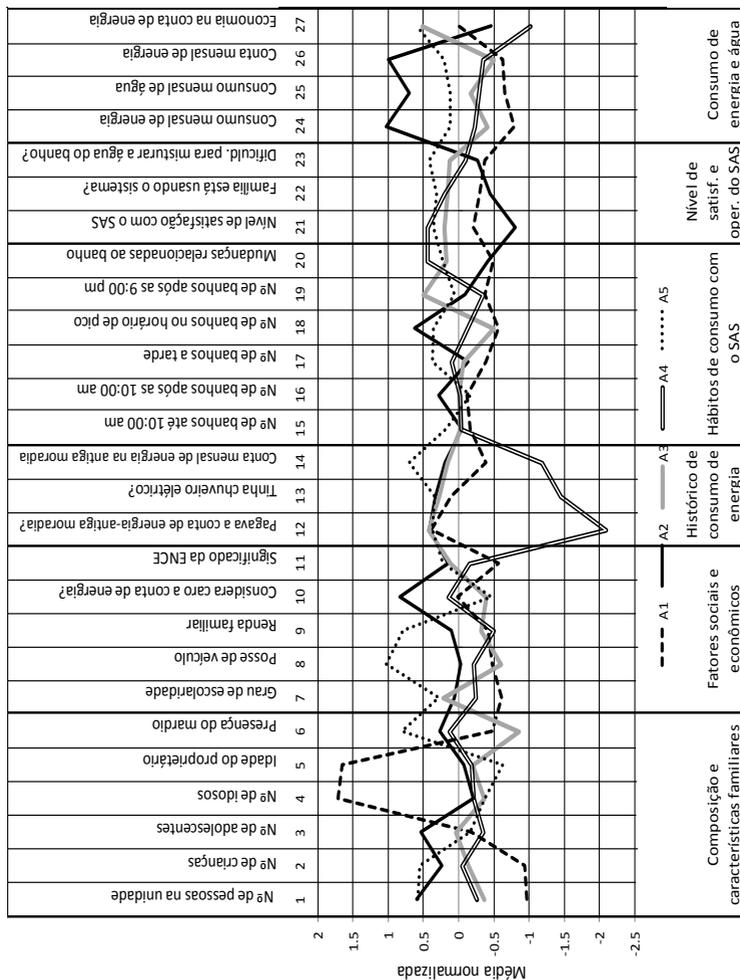
Na Figura 29 apresenta-se o diagrama de perfil com os cinco agrupamentos finais obtidos neste estudo, representados como A1, A2, A3, A4 e A5. O diagrama contém os 27 atributos de análise e respectivas médias padronizadas para cada um dos cinco agrupamentos.

Observou-se que a subdivisão formada preservou os critérios sociais especificados pelo Ministério das Cidades (item 2.1.2), o que foi decisivo para a definição dos agrupamentos formados. As famílias com presença de idosos formaram um agrupamento (A1), assim como as famílias provenientes de assentamentos com ligação clandestina na rede (A4), e famílias cuja mulher é a chefe da família (A3). Ao mesmo tempo, a estrutura formada manteve uma boa heterogeneidade no que se refere ao consumo e aos resultados de economia de energia.

Percebeu-se que a técnica de agrupamento é muito sensível às variações estabelecidas tanto referentes aos atributos escolhidos como ao número de agrupamentos formados. Entretanto, a divisão clara entre os grupos relativa à economia com a conta de energia persistiu na maioria das simulações. Também pode ser ressaltada a importância de se intensificar a inclusão de atributos que fortalecem a caracterização de determinado grupo, previamente observado na prática. A retirada do atributo “idade do proprietário” por exemplo, eliminava o grupo formado pelos idosos mesmo com a existência do atributo “número de idosos”. Da mesma forma, a retirada do atributo “compromisso do pagamento da conta de energia na antiga moradia”, também anulava o grupo formado pelas famílias que praticavam ligação clandestina na rede elétrica, mesmo com outros fatores de influência que pudessem caracterizá-los como, por exemplo, “valor da conta de energia na antiga moradia”. Quando grupos de famílias possuem certo grau de importância, é conveniente que mais de um atributo possa compor o conjunto de dados.

Os dados completos obtidos para os 194 casos finais e subdivididos entre os cinco agrupamentos finais podem ser observados no APÊNDICE C. A variabilidade dos atributos entre os cinco agrupamentos foi considerada significativa para valor-p menor do que 0,01. Embora três atributos de influência (15, 16 e 17) tenham atingido valor-p acima do parâmetro, esses foram preservados para que as características ligadas a preferências de horário de banho pudessem ser entendidas.

Figura 29 - Diagrama de perfil com a subdivisão da amostra de 200 unidades habitacionais do Residencial Vista Bela em cinco subgrupos homogêneos (A1, A2, A3, A4 e A5).



A seguir, são descritas as características de cada subgrupo obtido.

O agrupamento 1 compõe-se por famílias com presença de idosos (45% da população no grupo), onde a idade média do entrevistado é de 63 anos. Representam 15% da amostra os quais são compostos, além de idosos, por pessoas com idade acima de 50 anos. O grupo apresenta nível de satisfação com a tecnologia abaixo da média (69% dos entrevistados estão satisfeitos), e 45% apresentam dificuldades no uso do sistema. O grupo apresenta baixo nível de escolaridade sendo 38% deles analfabetos. Apenas 31% sabem o significado dos selos de eficiência energética dos equipamentos eletrodomésticos nacionais. Demonstram preferência por banhos antes das 10:00 (22% do número total de banhos declarados) e no horário de pico (43% do número total de banhos declarados), sendo estas as famílias que menos afirmaram mudança de hábitos de banho devido a presença do sistema (apenas 10% declaram mudanças de hábitos de banho). Caracteriza-se pelo menor índice de ocupação nas unidades habitacionais com muitos casos de pessoas que moram sozinhas. Com isso, a média do grupo apresenta baixo consumo mensal de energia e água, além de economia com a conta de energia inexpressiva.

O agrupamento 2 representa famílias insatisfeitas com o sistema (somente 52% estão satisfeitos). Caracterizam-se pelo maior índice de ocupação nas unidades habitacionais, com grande presença de crianças (37%) e de adolescentes (18%). Predominam quatro pessoas na família embora existam muitos casos com mais de seis pessoas (21%). O agrupamento também se destaca por arranjar famílias que consideram caro a conta de energia. As famílias deste grupo foram as que relataram um maior número de banhos no horário de pico (53% dos banhos). Destacam-se por ser o grupo com maior dificuldade de uso do sistema (50% possuem dificuldade) e que contempla a maioria dos casos onde as famílias deixaram de usá-lo (21% das famílias). Por fim, destacam-se principalmente por compor famílias com os mais altos consumos médios de água e energia. O grupo possui economia com a conta de energia abaixo da média e concentram famílias que pagam mais pela conta de energia na atual moradia com sistema de aquecimento solar do que na antiga moradia onde usavam apenas o chuveiro elétrico.

O agrupamento 3 tem como particularidade mais importante o predomínio de mulheres chefe de família, separadas ou viúvas, as quais sustentam a família (somente 16% das famílias apresenta o cônjuge na sua composição). As famílias são formadas na sua maioria por 3 pessoas. Possuem grau de escolaridade acima da média e, poucos casos de famílias com posse de veículo (apenas 4%). Tinham o compromisso

do pagamento da conta de energia na antiga moradia. Declararam maior frequência de banhos no horário de pico (31% do número total de banhos), com muitos casos que relatam mudança de hábitos de banho na nova moradia (42% dos entrevistados declararam mudanças). O consumo de energia elétrica está abaixo da média assim como o valor da conta de energia mensal. Com isso, o agrupamento obteve bons resultados de economia.

O agrupamento 4 caracteriza-se por famílias que não tinham o compromisso do pagamento da conta de energia na antiga moradia devido à prática da ligação clandestina na rede de energia. A maioria não tinha acesso ao chuveiro elétrico (somente 36% tinha chuveiro elétrico), aquecendo a água principalmente com o uso de lenha. Possuem baixo nível de escolaridade (74% dos entrevistados possuem ensino fundamental incompleto) e a menor renda familiar média declarada, entre os agrupamentos. São famílias compostas por 2, 3 e 4 pessoas, em proporções similares. Relataram mudanças de hábitos de banho com o sistema de aquecimento solar. As famílias se destacam pelo alto nível de satisfação com a tecnologia (94% dos entrevistados estão satisfeitos). Apresentam consumos abaixo da média e ausência de histórico de consumo.

Por fim, o agrupamento 5 caracteriza-se por famílias de maior composição, assim como o agrupamento 2, porém com menor número de adolescentes (apenas 7% da população são adolescentes). São famílias jovens, predominantemente formadas por quatro pessoas (36% das famílias), com grande presença do cônjuge. Possuem maior renda salarial, maior acesso ao veículo, maior grau de escolaridade, maior consumo de energia na antiga moradia e são as famílias que menos acham caro a atual conta de energia (apenas 28% dos entrevistados declararam caro a conta de energia). Um maior número de banhos é relatado para o período da tarde (24% dos banhos relatados), mas com predomínio de banhos no horário de pico (44% do total). 94% dos entrevistados estão satisfeitos com o sistema, com poucos relatos de famílias que possuem dificuldades no seu uso. Apresentam consumos acima da média e se destacam principalmente pela grande economia obtida com a conta de energia.

### **4.3.3 Resultados de economia de energia**

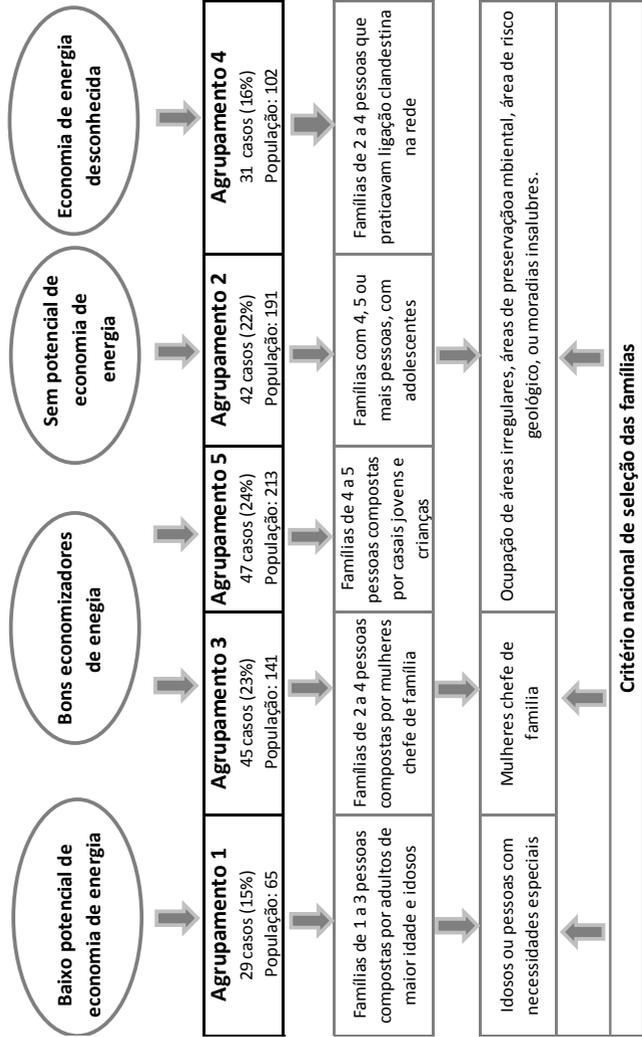
Diferentes resultados de economia foram obtidos no estudo. Os cinco agrupamentos podem, de uma maneira geral, ser caracterizados a partir dos resultados de economia com base no atributo “economia na

conta de energia elétrica” (27) e também com base nos critérios brasileiros de seleção das famílias para receber a moradia. O agrupamento 1, com economia na conta de energia pouco expressiva, representa as famílias idosas e de maior idade. Os agrupamentos 3 e 5 obtiveram bons resultados de economia na conta de energia. Foram escolhidas pela Companhia de Habitação de Londrina prioritariamente devido: à presença de mulheres chefe de família (agrup. 3) ou por ocuparem áreas irregulares de fundos de vale ou, moradias de aluguel ou, cedida por parentes ou ainda, em condições insalubres (agrup. 5). O agrupamento 2 representa famílias sem percepção de economia na conta de energia. Estas prioritariamente foram escolhidas por ocuparem áreas irregulares, casas alugadas ou cedidas, assim como o agrupamento 5. O agrupamento 4 representa as famílias com economia desconhecida devido à ausência de pagamento da conta de energia na antiga moradia. Foram contemplados por viverem em condições de insalubridade caracterizadas por moradias provisórias com ligação clandestina na rede de energia.

A partir da classificação estabelecida na Figura 30, estima-se que 47% das famílias possui bom potencial de economia com o sistema, representado pelos agrupamentos 3 e 5. Estas possuem grau de escolaridade mais elevado dentre os demais e não apresentam dificuldades para uso da tecnologia. Entretanto, um grande grupo, representado por 37% das famílias (agrupamentos 1 e 2), não apresentou economia expressiva na conta de energia.

Famílias com maior número de pessoas pressupõe maior economia na conta de energia devido à grande demanda de energia para aquecer a água do banho. Sendo assim, porque as famílias do agrupamento 2 não observaram economia na conta de energia após a apropriação do sistema de aquecimento solar? Duas hipóteses norteiam este resultado. A primeira hipótese é que o consumo de energia pelos demais usos finais é consideravelmente maior do que o consumo pelo chuveiro elétrico, tornando imperceptível a pequena economia obtida com redução do uso do chuveiro elétrico diante do consumo total. A segunda hipótese é que a maior facilidade na obtenção da temperatura ideal de banho com o chuveiro elétrico favorece o mau uso do sistema de aquecimento solar, principalmente pelos adolescentes que possuem a capacidade de gerenciar o seu próprio banho.

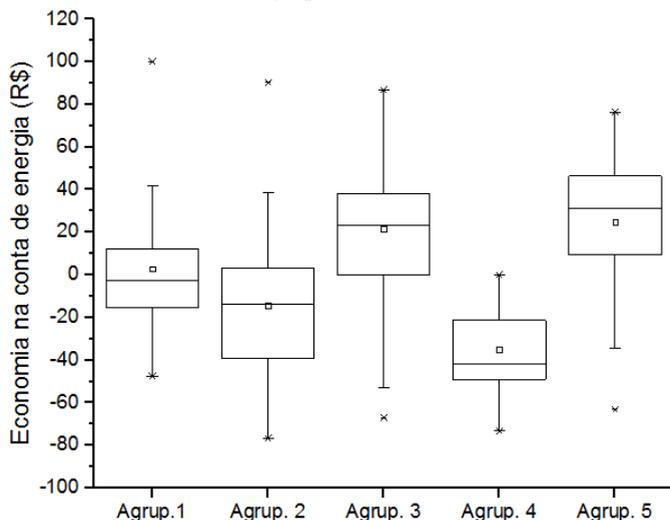
Figura 30 - Classificação dos subgrupos homogêneos em relação ao seu potencial de economia de energia com o sistema de aquecimento solar.



O baixo resultado de economia obtido pelas famílias contidas no agrupamento 1 podem ser atribuídos ao baixo índice de ocupação e/ou uso incorreto da tecnologia devido ao baixo nível de escolaridade.

O diagrama de caixa na Figura 31 apresenta a dispersão dos valores de economia de energia obtidos nos agrupamentos.

Figura 31 – Variação nos resultados de economia mensal de energia elétrica entre os agrupamentos formados.



De acordo com a Figura 31, os agrupamentos 3 e 5 apresentam mais de 75% das famílias com resultados positivos de economia. Por outro lado, quase 75% das famílias no agrupamento 2 tiveram aumento na conta de energia. Ressalta-se que o agrupamento 5 apresenta os valores mais altos de economia de energia, onde 50% dos dados mais próximos da média variam de R\$10,00 reais a R\$45,00 reais por mês. O agrupamento 1 manteve-se com quase 50% dos dados com economia positiva. Já o agrupamento 4 configura-se por 100% dos dados negativos representando uma população que não pagava a conta de energia na antiga moradia.

Incertezas estão presentes nestes resultados. A estratégia para determinação de resultados de economia baseia-se em dados declarados pelos usuários em relação ao seu histórico de consumo. O atributo “conta mensal de energia elétrica na antiga moradia” representa um

dado médio mensal declarado pela família para caracterizar o gasto com a conta de energia anterior à mudança para a nova moradia. Em um novo e diversificado contexto, é muito difícil obter dados de consumo de uma amostra de população que morava em diferentes regiões. Assim, neste estudo, a contribuição do usuário na declaração de informações é muito importante. Ressalta-se ainda que o valor da conta de energia foi declarado por todos os entrevistados devido a sua grande representatividade no orçamento das famílias de baixa renda.

Os resultados baseiam-se também em dados relativos ao consumo de energia total, considerando todos os usos finais da edificação. Esta técnica, segundo EVO (2012) carrega a necessidade de ajustes do período da linha de base em relação ao período de determinação dos resultados de economia. Os equipamentos eletrodomésticos podem ter sido trocados, novas composições familiares ou mudanças na rotina de uso de equipamentos podem ter ocorrido. Todas estas possíveis alterações afetam os resultados de economia. Porém, as constatações aqui obtidas têm como principal contribuição a formação dos agrupamentos e identificação dos subgrupos homogêneos. Posteriormente, a medição isolada do sistema de aquecimento solar é essencial para a confirmação das hipóteses e problemas identificados.

Analisando a variação do consumo mensal de energia nos cinco agrupamentos, tem-se que as famílias contidas no agrupamento 2 consomem de 89 kWh até 242 kWh por mês, superior aos demais agrupamentos (Figura 32).

Embora as famílias contidas no agrupamento 2 possuam um maior número de pessoas na unidade, quando analisadas apenas as famílias com quatro membros (Figura 33), o agrupamento mantém-se em destaque pela dispersão de valores em níveis mais altos de consumo. Por outro lado, o agrupamento 4 que apresenta consumo médio de cerca de 100 kWh, quando analisadas apenas as famílias com 4 membros, percebe-se que a média de consumo é superior à média das famílias contidas nos agrupamentos 3 e 5. Assim, pode-se afirmar que os agrupamentos 2 e 4 são os maiores consumidores de energia. O agrupamento 1 não contempla famílias com 4 membros e por isso não integrou esta análise.

Figura 32 – Variação do consumo mensal de energia elétrica (período de janeiro a junho de 2012) entre os agrupamentos formados.

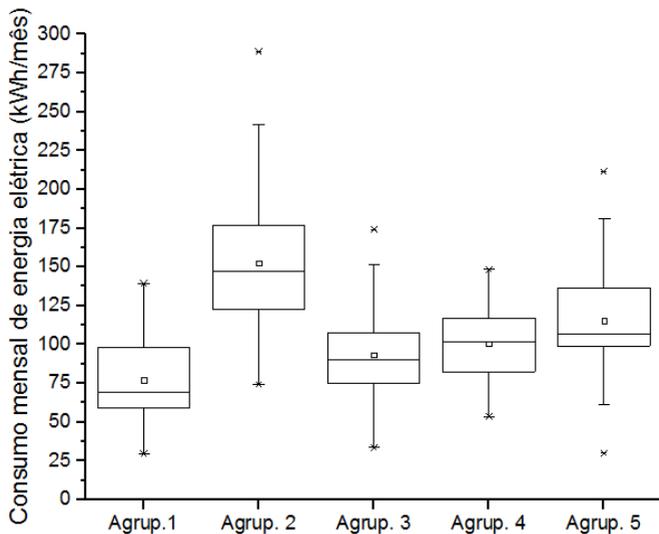
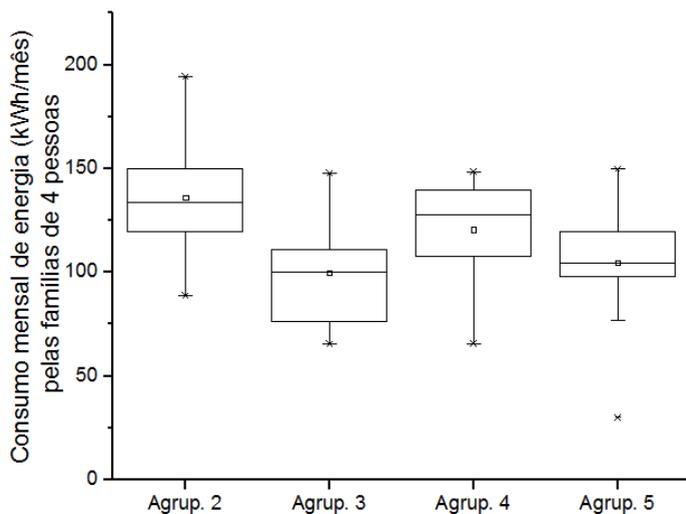


Figura 33 – Variação do consumo mensal de energia elétrica (período de janeiro a junho de 2012) em famílias com quatro pessoas contidas nos agrupamentos formados.



Os resultados obtidos até aqui demonstraram que existem problemas no uso do sistema de aquecimento solar. A divisão da amostra entre cinco subgrupos homogêneos reduziu a variabilidade existente no contexto de análise e permitiu relacionar os fatores de influência aos resultados estimados de economia de energia.

Este resultado preliminar contribui com os estudos que procuram medir a economia de energia de uma maneira investigativa, de modo a responder as questões: Porque algumas famílias não têm a percepção de economia com o sistema? Como os diferentes padrões familiares usam o sistema e qual deles apresenta maior domínio? Quais as dificuldades existentes, em que agrupamento elas prevalecem e, como afetam resultados de economia?

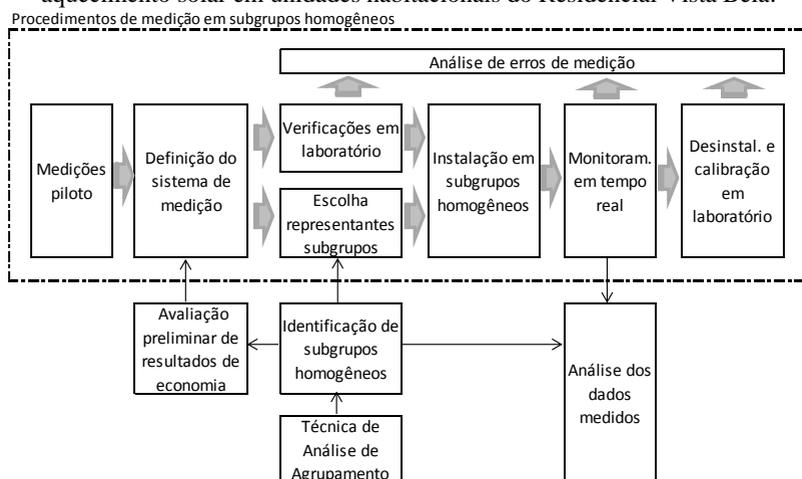


## 5 PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO EM SUBGRUPOS HOMOGÊNEOS

### 5.1 INTRODUÇÃO

Com a compreensão do contexto analisado e identificação de cinco subgrupos homogêneos deu-se início à etapa de medição detalhada do sistema de aquecimento solar de água em cinco unidades habitacionais representativas de cada agrupamento. Os subgrupos possuem homogeneidade no que diz respeito aos aspectos socioeconômicos, de consumo (antes e depois da instalação do sistema) e de economia. Desta forma, por meio de medições, pode-se compreender como os fatores de influência afetam os resultados de economia de energia. Para isso, foi desenvolvido um procedimento de medição que permite compreender a utilização do sistema de aquecimento solar pelos usuários. Medições piloto e verificações iniciais foram necessárias para consolidar a escolha do sistema. Calibrações após o período de monitoramento permitiram avaliar a precisão dos equipamentos devido às condições prolongadas de uso. O monitoramento ao longo de um ano, realizado em tempo real, permitiu detectar erros de medição, substituir equipamentos e ajustar sensores. A Figura 34 demonstra um esquema representativo dos procedimentos de medição adotados no estudo.

Figura 34 – Procedimentos adotados para realização das medições do sistema de aquecimento solar em unidades habitacionais do Residencial Vista Bela.



## 5.2 MÉTODO DE PESQUISA

A seguir, tem-se a descrição dos procedimentos e técnicas adotados.

### 5.2.1 Composição do sistema de medição

A estratégia de medição adotada teve como foco compreender como os fatores de influência elencados na primeira etapa do estudo afetam o uso do sistema de aquecimento solar pelos usuários e consequentemente os resultados de economia. Assim, foi necessária a medição de parâmetros de consumo de energia, de uso da água quente, e de funcionamento e operação do sistema pelas famílias. Com isso, os resultados de economia puderam ser compreendidos em decorrência da forma como o usuário utilizava o sistema.

A escolha dos equipamentos de medição foi prioritariamente definida em função das seguintes limitações:

- (a) Os equipamentos precisavam estar locados fora do alcance dos usuários, evitando o seu manuseio por crianças e permitindo que o monitoramento fosse menos invasivo no cotidiano das famílias;
- (b) O sistema de aquisição e armazenamento dos dados deveria apresentar dispositivo de transferência remota evitando a necessidade de visitas no local. Com isso, o contato com os usuários se estabeleceria minimamente, e a rotina de uso do sistema de aquecimento solar pela família não seria comprometida;
- (c) A leitura dos dados medidos deveria ocorrer em tempo real, onde erros e problemas com os sensores pudessem ser rapidamente identificados e corrigidos. Tal limitação foi necessária tendo em vista a reduzida amostra para avaliação dos resultados;
- (d) Os equipamentos adotados deveriam apresentar baixo custo uma vez que o recurso financeiro, oriundo de fonte de fomento de pesquisa, era limitado;
- (e) Os equipamentos deveriam conter um histórico de procedência, de fabricação conhecida, sendo já utilizados em situações similares em aplicações domésticas e com relatórios e manuais que descrevem as principais características, precisão, e limitações;

- (f) O sistema de medição deveria permitir a medição em intervalos de um minuto visando obter dados da rotina de banho.

Com base nestas condições foi adotado um sistema de medição com transferência remota dos dados via sinal de celular. Uma especificidade é que ele permite a integração de medidores de energia, temperatura e fluxo de água a partir de um único sistema de aquisição de dados, reduzindo custos com equipamentos. Tal característica não pode ser obtida na época, por outros fabricantes.

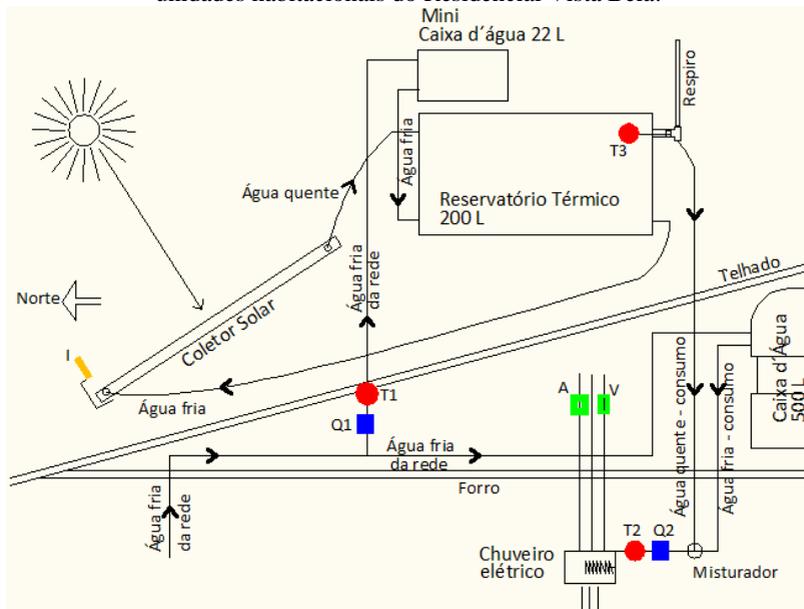
A definição do sistema de aquisição e transferência remota dos dados condicionou a escolha dos sensores. Os sensores de temperatura adotados neste estudo eram os únicos compatíveis com o sistema de aquisição de dados, assim como o piranômetro para medição da irradiação no plano inclinado e os sensores de corrente alternada e tensão. A Figura 35 demonstra os componentes do sistema de medição adotado no estudo, bem como seu posicionamento para o monitoramento.

O sistema é composto por oito sensores (Q1, Q2, T1, T2, T3, A, V, I), dois fechamentos de contato (C1), um adaptador de corrente alternada e tensão (C2) e um sistema de aquisição e transferência remota dos dados (*datalogger*).

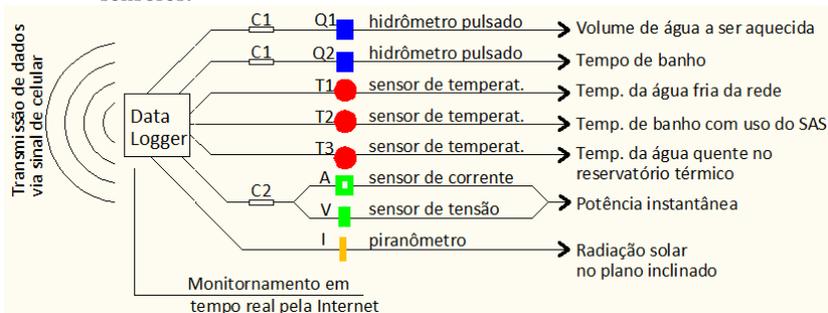
O entendimento de como os usuários utilizam o sistema de aquecimento solar de água requer a medição de fluxo de água. Para isso foram adotados dois hidrômetros, Q1 e Q2. Eles permitiram a leitura do volume de água a ser aquecida e tempo de banho, respectivamente.

O parâmetro medido em T1 foi a temperatura média mensal de água fria da rede. A medição ocorreu em apenas uma das unidades monitoradas, assumindo a mesma temperatura da água fria de abastecimento para as demais unidades monitoradas. Em paralelo, foram obtidos dados mensais de água fria da rede de abastecimento, fornecidos pela concessionária de água da cidade. Os dados mensais de temperatura de água fria foram medidos na estação de tratamento de água que abastece o conjunto habitacional em análise. Com isso, pode-se comparar a temperatura de água fria medida em T1 com os dados fornecidos pela concessionária de água para o mesmo período.

Figura 35 – Sistema de medição adotado no monitoramento realizado em cinco unidades habitacionais do Residencial Vista Bela.



(a) Esquema do sistema de aquecimento solar com o posicionamento dos sensores.



(b) Identificação dos sensores e respectivos parâmetros de medição.

O sensor T2 foi posicionado no prolongador do chuveiro elétrico, em conjunto com o hidrômetro Q2, logo após a mistura da água quente do reservatório térmico com a água fria da caixa d'água. O parâmetro medido em T2 foi a temperatura média mensal de banho com o uso exclusivo do sistema de aquecimento solar.

O sensor T3 foi posicionado no interior do reservatório térmico, na saída de água quente para consumo. O parâmetro medido foi a

temperatura média mensal de água quente no interior do reservatório térmico. Este sensor de temperatura permitiu a leitura constante dos dados, permanecendo submerso em água quente ao longo de todo o monitoramento.

Para medição da potência dissipada pelo chuveiro elétrico as grandezas medidas foram a corrente elétrica (A) e a tensão (V). Como o chuveiro elétrico adotado caracteriza-se por uma carga resistiva, o produto da tensão e corrente elétrica fornece a potência instantânea dissipada pelo aparelho.

O estudo não contemplou a medição de parâmetros climáticos como temperatura do ar do entorno, velocidade do vento e umidade. Entretanto, optou-se por incluir a medição de irradiação solar ( $W/m^2$ ) no plano inclinado do coletor solar a fim de compreender melhor os resultados de temperatura medidos no interior do reservatório térmico. A medição da irradiação solar (I) ocorreu em apenas uma das unidades habitacionais monitoradas.

Dados de temperatura do ar da cidade em média horária foram disponibilizados pelo Sistema Meteorológico do Paraná – SIMEPAR e adotados nas análises comparativas com a temperatura de água fria medida.

Dados referentes ao consumo total de energia elétrica, nas cinco unidades habitacionais monitoradas, foram disponibilizados pela concessionária de energia local, para o mesmo período de medição.

O conjunto de parâmetros obtidos por medição foi:

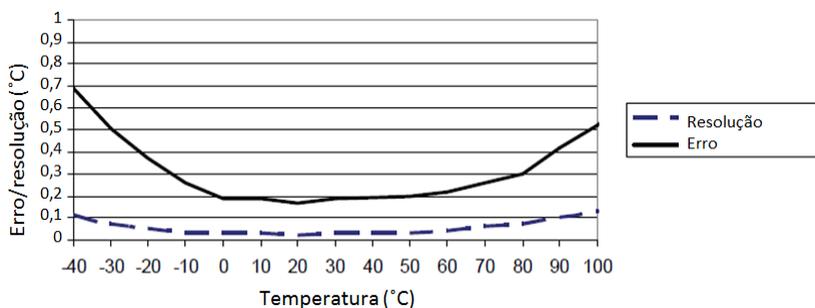
- 1- Volume de água que abastece o reservatório térmico;
- 2- Tempo de banho com chuveiro elétrico;
- 3- Tempo de banho com sistema de aquecimento solar;
- 4- Temperatura da água fria fornecida pela rede de abastecimento;
- 5- Temperatura da água fria na estação de tratamento (fornecido pela SANEPAR);
- 6- Temperatura da água do banho;
- 7- Temperatura da água do reservatório térmico;
- 8- Potência do chuveiro elétrico;
- 9- Irradiação solar no plano inclinado;
- 10- Temperatura do ar medido a 10 metros de altura pela estação meteorológica de Londrina (fornecido pelo SIMEPAR);
- 11- Consumo de energia elétrica mensal nas unidades monitoradas (fornecido pela COPEL).

A seguir, tem-se a descrição dos sensores adotados na medição.

### 5.2.1.1 Sensores de Temperatura

Os transdutores adotados para medição da temperatura da água fria da rede (T1), temperatura da água do banho (T2) e temperatura da água no interior do reservatório térmico (T3), possuem uma faixa de indicação<sup>11</sup> de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $100^{\circ}\text{C}$ . Segundo o fabricante<sup>12</sup>, o erro menor do que  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$  é obtido para medição de temperatura de 0 a  $50^{\circ}\text{C}$ , conforme demonstra o gráfico da Figura 36. Para sensores submersos em temperatura com cerca de  $60^{\circ}\text{C}$ , por exemplo, o erro é de  $\pm 0,22^{\circ}\text{C}$ . Da mesma forma, a resolução de  $0,03^{\circ}\text{C}$  informada pelo fabricante é obtida para medição de temperatura de 0 a  $50^{\circ}\text{C}$ , aumentando para cerca de  $0,04^{\circ}\text{C}$  quando submerso em temperatura com cerca de  $60^{\circ}\text{C}$ .

Figura 36 - Erro e resolução dos sensores de temperatura adotados na medição em unidades habitacionais do Residencial Vista Bela.



Fonte: Adaptado de Onset Computer Corporation (2015).

Segundo as especificações técnicas, o conjunto sensor e cabo (Figura 37) garantem a leitura dos dados quando submersos em água com até  $50^{\circ}\text{C}$ , por um período de um ano. O sensor apresenta tempo de resposta menor do que um minuto quando submerso em água agitada.

11 Faixa de Indicação é o intervalo entre o menor e o maior valor que o dispositivo mostrador tem condições de identificar. (Fonte: Gonçalves, 2004)

12 Onset Computer Corporation.

Figura 37 – Imagem do sensor de temperatura adotado na medição em unidades habitacionais do Residencial Vista Bela.



#### 5.2.1.2 Sensores de corrente alternada e tensão

Para medição da corrente alternada foi adotado um transformador de corrente (CT) com entrada nominal de até 100 ampere, e erro de  $\pm 1\%$ . Ele é montado em torno de um fio percorrido por corrente elétrica para medir amperagem. Já para medição da tensão foi adotado um transformador de potencial (PT) com faixa de indicação de 0 a 300 volts e erro de  $\pm 1\%$ . Para envio dos dados medidos pelos sensores de tensão e corrente ao sistema de aquisição de dados, um módulo de conexão chamado “*FlexSmart TRMS Module*” deve ser adotado. Os condutores dos sensores de corrente alternada e tensão são conectados ao módulo o qual registra o dado medido e o fornece ao sistema de aquisição de dados. A Figura 38 demonstra a conexão dos sensores de corrente alternada e de tensão ao módulo *FlexSmart*.

Figura 38 - Conjunto de sensores e módulo para medição da potência do chuveiro elétrico nas unidades habitacionais.



### 5.2.1.3 Hidrômetros pulsados

Para a medição de fluxo de água foi adotado o hidrômetro multijato de transmissão magnética, vazão nominal<sup>13</sup> de 1,5 m<sup>3</sup>/h e classe metrológica B. Possui vazão mínima<sup>14</sup> de 0,5 litros/min. Segundo fabricante, a perda de pressão na linha de abastecimento é de no máximo 1 bar. Possui menor valor de indicação de leitura de 0,0001 m<sup>3</sup>. O hidrômetro adotado atende ao regulamento técnico metrológico do INMETRO (BRASIL, 2000b) para medição de água com temperatura de até 40°C.

Neste estudo, adotou-se um sensor magnético fixado no visor do hidrômetro, sobre o contador de menor divisão. O movimento do ponteiro do contador, ao completar um ciclo de 1 litro medido pelo hidrômetro, é detectado pelo sensor magnético o qual emite um sinal de

---

13 Vazão nominal é definida como a maior vazão, nas condições de utilização, nas quais o medidor é exigido para funcionar de maneira satisfatória dentro dos erros máximos admissíveis.(Fonte: BRASIL, 2000b).

14 Vazão mínima é definida como a menor vazão na qual o hidrômetro fornece indicações que não possuam erros superiores aos erros máximos admissíveis. (Fonte: BRASIL, 2000b).

pulso. Se em um minuto o hidrômetro medir 3,5 litros, 3 sinais de pulso serão emitidos. O minuto posterior compreenderá o 0,5 litro restante.

Para que o sistema de aquisição de dados interprete o sinal de pulso foi necessário o emprego de um dispositivo de fechamento de contato, ou adaptador de pulso. Na Figura 39, tem-se o conjunto hidrômetro pulsado (Q1) conectado ao fechamento de contato (C1).

Figura 39 - Conjunto hidrômetro pulsado e fechamento de contato para leitura da vazão de água a ser aquecida pelo sistema de aquecimento solar em unidades habitacionais do Residencial Vista Bela.



#### 5.2.1.4 Piranômetro

O modelo do piranômetro adotado nas medições foi o único compatível com o sistema de aquisição adotado. É um modelo de baixo custo, compreendido por um fotodiodo de silício, um dispositivo semiconductor que converte luz em corrente elétrica. A faixa de indicação do sensor é de 0 a 1280 W/m<sup>2</sup>. A faixa espectral compreendida é de 300 a 1100 nanômetros, não abrangendo portanto todo espectro da radiação solar. Possui erro de  $\pm 5\%$  e resolução de 1,25 W/m<sup>2</sup>. Para a medição no plano do coletor solar, o sensor foi adaptado em um perfil metálico, como demonstra a Figura 40.

Figura 40 - Piranômetro para medição de irradiação solar no plano inclinado em uma unidade habitacional do Residencial Vista Bela.



### 5.2.1.5 Sistema de aquisição e transferência remota dos dados

O sistema de aquisição de dados permite a leitura de cinco sensores de medição. Um componente chamado extensor pode ser adicionado permitindo a leitura de mais três sensores. No estudo, foram adotados quatro sistemas de aquisição de dados com entrada para cinco sensores e um sistema com entrada para oito sensores. A Figura 41 ilustra o sistema adotado, com entrada para cinco sensores.

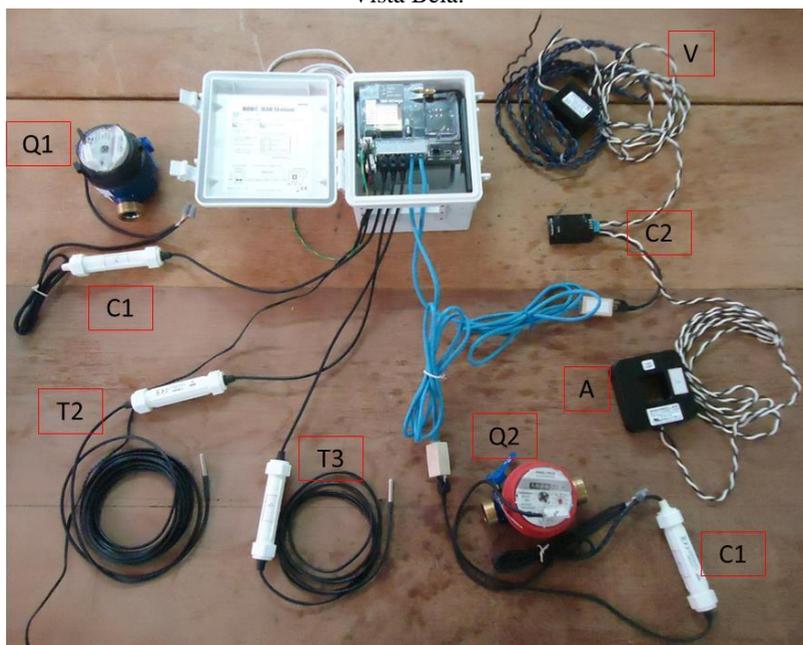
Figura 41 - Sistema de aquisição e transferência remota de dados adotado na medição em unidades habitacionais do Residencial Vista Bela.



A numeração contida na Figura 41 corresponde a: 1- visor em LED indicando quando o sistema está ativo, alarmes e comunicação; 2 – antena GSM (*Global System for Mobile Communication*) para transferência dos dados via sinal de celular; 3 – armazenamento interno de dados; 4 – fonte de alimentação do sistema, 127V; 5 – entrada USB; 6 – Conexão da bateria; 7 – Entrada para conexão dos sensores; 8 – Aterramento.

Na Figura 42 tem-se o conjunto formado pelo sistema de aquisição e transferência de dados e os sensores que compõem a medição. São eles, os hidrômetros pulsados Q1 e Q2 com seus fechamentos de contato C1, sensores de temperatura T2 e T3, sensores de corrente alternada, e tensão A e V com o módulo de conexão C2.

Figura 42 - Conjunto de equipamentos que compõe o sistema de medição adotado em quatro das cinco unidades habitacionais monitoradas no Residencial Vista Bela.



Os condutores de cor azul, ilustrados nas Figuras 41 e 42, são extensões adaptadas para atender a uma maior distância entre o ponto de medição e o sistema de aquisição de dados. No caso do módulo C2, a

sua distância em relação ao sistema de aquisição de dados deveria ser maior do que um metro para evitar a interferência na comunicação dos dados.

Para o monitoramento da quinta unidade habitacional foi adicionado um extensor, o qual permitiu a leitura de mais dois sensores, o sensor de temperatura de água fria da rede (T1) e o piranômetro (I). A Figura 43 demonstra a inclusão do extensor ao sistema e a conexão dos sete sensores. A numeração contida na imagem corresponde a: 1 – extensor; 2 – cabo para conexão do extensor à porta de entrada de sensores.

Figura 43 - Sistema de aquisição e transferência remota de dados, com extensor para conexão de sete sensores, adotado em uma das unidades habitacionais monitoradas no Residencial Vista Bela.



Para a configuração de cada sensor, foi necessário o uso do software *HOBOWare PRO* (ONSET, 2010). Os intervalos de coleta e amostragem de dados foram programados, assim como as características específicas de cada sensor. O intervalo de coleta de dados adotado nos cinco sistemas de aquisição de dados foi de um minuto. O intervalo de amostragem não foi ativado, mantendo-se uma medição a cada minuto.

O sistema de aquisição permitiu a transferência remota dos dados por meio de comunicação via sinal de celular. Os dados são transmitidos para o servidor do fornecedor, disponibilizando-os por meio de uma plataforma<sup>15</sup> de acesso a sistemas de monitoramento remoto. Nesta

---

<sup>15</sup> Plataforma HOBOLink: o acesso é realizado pelo site [www.hobolink.com](http://www.hobolink.com). É necessário o pagamento de um plano anual para ter acesso aos dados pela plataforma.

plataforma, os dados são armazenados em arquivos que permitem a abertura no software Excel.

### **5.2.2 Medições piloto, verificações e calibrações em laboratório**

Inicialmente foi adquirido um único conjunto de equipamentos para a realização de testes iniciais e definição final do sistema de medição. Existiam muitas dúvidas em relação ao posicionamento dos sensores no local e o seu desempenho para a leitura dos dados conforme documentado pelos fabricantes. Por isso, foi escolhida uma unidade habitacional do conjunto habitacional em estudo para a realização de medições piloto. Os equipamentos foram instalados no início de setembro de 2012 e desinstalados no início de janeiro de 2013. Nesta etapa de pesquisa foi definida uma solução para inserir o sensor de temperatura no interior do reservatório térmico. Foi testada uma solução para acoplar o conjunto formado pelo hidrômetro Q2 e sensor de temperatura T2 no lugar do prolongador do chuveiro elétrico. Também foi verificado o desempenho do hidrômetro Q2 na medição de água quente.

Após definição da composição do sistema de medição e aquisição dos demais conjuntos de equipamentos deu-se início à etapa de verificação em laboratório. Os equipamentos passaram por verificações no laboratório de hidráulica da Universidade Estadual de Londrina durante os meses de janeiro e fevereiro de 2013. Apenas os hidrômetros pulsados passaram por procedimentos de calibração anterior ao monitoramento.

O uso prolongado dos equipamentos e as condições de exposição dos sensores motivaram a realização de procedimentos de calibração após o período de monitoramento. Assim, obteve-se erros de indicação referentes ao período final de medição. Tais erros não são representativos de todo o período de medição mas asseguram que os resultados sejam mencionados com maior cautela. As análises relativas ao monitoramento ocorreram de abril de 2013 a março de 2014, completando assim um ano de medições. Entretanto, os equipamentos permaneceram nas unidades habitacionais até o dia 26 de junho. Neste dia, todos os sensores e sistemas de aquisição de dados foram desinstalados das unidades habitacionais e encaminhados para calibração em laboratório.

A seguir, são expostos os procedimentos de verificação e calibração, adotados para os sensores.

Anterior ao monitoramento, os 11 sensores de temperatura foram submetidos a simples verificações em laboratório, considerando sua aferição pelo fabricante. Foram colocados também em um recipiente cerâmico submersos em água quente em torno de 60°C. Após o período de monitoramento, os sensores de temperatura foram desinstalados e calibrados no laboratório de metrologia do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI de Londrina, acreditado pelo INMETRO. Os cinco sensores que ficaram submersos em água quente (T3) foram calibrados no dia 30 de junho de 2014. Já os demais sensores de temperatura foram calibrados no dia 08 de setembro de 2014.

A calibração dos sensores foi realizada em meio termostático de homogeneidade conhecida, onde foram realizadas medições subsequentes das indicações do sensor padrão e dos sensores do estudo, conforme Figura 44.

Figura 44 - Banho térmico para calibração dos sensores de temperatura após medições em unidades habitacionais do Residencial Vista Bela.



Para os ensaios, foram utilizados:

- (a) Banho térmico;
- (b) Multímetro Digital;
- (c) Termorresistência de Platina Pt100 simples ligação 4 fios (sensor padrão).

Os sensores de temperatura T3 foram colocados em banho térmico, programado com três níveis de temperatura: 30°C, 50°C e 70°C. Já para os sensores de temperatura T1 e T2 o banho térmico foi programado para: 15°C, 40°C e 70°C.

Anterior ao monitoramento, foi montado um experimento em laboratório para verificação dos cinco conjuntos de sensores de corrente alternada e tensão. Para as medições, foi utilizado um forno elétrico de potência de 1750 W e corrente máxima de 14 amperes. Os dados medidos foram comparados com dois multímetros. O experimento foi realizado com o apoio de pesquisadores do departamento de engenharia elétrica. Para o experimento foram realizadas 10 leituras em intervalos de um minuto. A Figura 45 ilustra o experimento realizado.

Figura 45 - Ensaio para verificação de funcionamento dos sensores de corrente alternada e tensão utilizados na medição da potência do chuveiro elétrico em unidades habitacionais do Residencial Vista Bela.



Após o monitoramento, os sensores de corrente e tensão foram novamente verificados em laboratório utilizando o mesmo procedimento de ensaio adotado anteriormente.

Anterior ao período de monitoramento, todos os hidrômetros pulsados foram ensaiados em água fria. Foi verificado se os hidrômetros atendiam às condições mínimas estabelecidas pelo regulamento técnico metrológico do INMETRO (BRASIL, 2000b) através de ensaios de determinação de erros de indicação. Ao mesmo tempo, os sinais de pulso foram monitorados verificando se as vazões registradas pelo sistema de aquisição de dados eram compatíveis às escoadas naquele momento. As vazões de ensaio foram:

- (a) Vazão mínima ( $Q_{min}$ );
- (b) Vazão de transição<sup>16</sup> ( $Q_t$ );
- (c) Vazão de banho em unidade do Vista Bela ( $Q_{VB}$ );
- (d) Vazão máxima ( $V_{max}$ ).

Segundo BRASIL (2000b), para a classe metrológica B, com vazão nominal de  $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , as vazões mínimas e de transição são respectivamente  $0,5 \text{ l/min}$  e  $2 \text{ l/min}$ . Foi ensaiada também a vazão obtida nas medições piloto (vazão Vista Bela) de  $4 \text{ l/min}$  e vazão máxima, limitada pelo experimento, de  $15 \text{ l/min}$ . O volume escoado para determinação dos erros de indicação foi de 10 litros para os ensaios nas vazões mínimas e de transição e 50 litros para os ensaios nas vazões do Vista Bela e máxima. Para cada vazão, três ensaios foram realizados obtendo o volume escoado médio. Para a realização deste ensaio foram utilizados os seguintes materiais:

- (a) Balança com capacidade máxima de 30.000 gramas e resolução de 5g;
- (b) Bacia com volume de 14 litros;
- (c) Galão de 20 litros;
- (d) Cronômetro;
- (e) Proveta com marcação de até 1 litro;
- (f) Mangueira.

As vazões foram encontradas considerando os intervalos entre  $Q_{min}$  e  $1,1 Q_{min}$ , entre  $Q_t$  e  $1,1 Q_t$ , entre  $Q_{VB}$  e  $1,1 Q_{VB}$ , entre  $0,9$

---

<sup>16</sup> Vazão que define a separação dos campos de medição inferior e superior. (Fonte: BRASIL, 2000b).

$Q_{max}$  e  $Q_{max}$ . Com as vazões estabilizadas, a leitura do volume indicado pelo hidrômetro foi realizada por meio do ponteiro de divisão em litros. Em seguida, o volume real escoado era pesado. O erro foi obtido com base na equação 8.

$$E = \frac{L - V_e}{V_e} \cdot 100 \quad (8)$$

Onde:

E = Erro (%);

L = Leitura indicada pelo hidrômetro;

$V_e$  = Volume escoado medido.

Segundo BRASIL (2000b), os erros máximos admissíveis na indicação dos volumes escoados são de 5% para vazão mínima e 2% para as vazões superiores.

Após o monitoramento, novamente em laboratório, os hidrômetros Q2 passaram por verificações do sinal de pulso. Já os hidrômetros Q1 foram calibrados em laboratório obtendo novamente o erro de indicação do volume escoado. As vazões ensaiadas foram: 0,5 l/min, 2 l/min, e 6 l/min. A Figura 46 demonstra o ensaio realizados a partir de 17 de julho de 2014.

Figura 46 - Calibração em laboratório dos hidrômetros pulsados após período de monitoramento em unidades habitacionais do Residencial Vista Bela.



Toda a água utilizada no experimento foi reaproveitada por meio de um sistema de bombeamento. Desta forma, durante os ensaios, a torneira era mantida aberta ao longo do dia e as vazões de ensaio estabilizadas. Assim, era possível analisar os sinais de pulso enviados para o sistema de aquisição de dados. Nas vazões de transição, por exemplo, dois sinais de pulso deveriam ser enviados a cada minuto. Nas vazões mínimas, com 0,5 l/min, o primeiro minuto deveria ser zero pulso, no segundo minuto um pulso, e assim sucessivamente.

Anterior ao monitoramento, o único piranômetro adotado no estudo foi verificado com base em medições horárias realizadas no plano horizontal. O experimento foi realizado no dia 28 de janeiro de 2012, em condições de céu aberto com poucas nuvens. Foi utilizado um tripé para posicionamento do sensor no plano horizontal. As medições foram programadas para ocorrer a cada minuto. Os valores de irradiação solar, em média horária, foram comparados com os dados horários de Frota (2001) para o dia de solstício de verão.

Por fim, a comunicação remota do sistema foi testada em laboratório e preparada para o início das medições. Aos sistemas de aquisição de dados foram incorporados os chips para armazenamento de dados. Na plataforma *HOBOLink*, os cinco sistemas de aquisição foram identificados e nomeados como *cluster 1*, *cluster 2*, *cluster 3*, *cluster 4* e *cluster 5*. A Figura 47 demonstra quatro dos cinco conjuntos de sistema de aquisição de dados ativados com os respectivos sensores.

Figura 47 - Conexão de sensores ao sistema de aquisição de dados para medições em unidades habitacionais do Residencial Vista Bela.



### **5.2.3 Escolha das famílias e instalação do experimento nas unidades**

A partir da análise de agrupamento, os casos contidos em cada subgrupo homogêneo foram ordenados de maneira crescente considerando a distância euclidiana de cada um em relação ao centro médio do grupo. Casos com menores distâncias representam famílias com características mais próximas da média do grupo. Assim, o objetivo desta etapa foi selecionar os casos com as menores distâncias da média do grupo.

Em campo, as unidades habitacionais das famílias mais próximas do centro médio foram verificadas. Dentre os primeiros casos selecionados, a maioria apresentava coletores na horizontal<sup>17</sup>. Casos com coletores na vertical foram eliminados da possibilidade de medição, evitando variações nas características do sistema.

As cinco unidades habitacionais foram selecionadas com o consenso das famílias, compreendendo que o estudo teria duração de um ano. Posteriormente, em fevereiro de 2013 foi realizada uma visita às unidades previamente escolhidas, em conjunto com uma assistente social da Companhia de Habitação de Londrina – Cohab-Ld. A presença de uma profissional proveniente de um órgão municipal de grande representatividade neste contexto de estudo, estabeleceu uma parceria mais consistente entre o pesquisador e as famílias. A análise da assistente social proporcionou segurança na escolha das famílias, quanto à vulnerabilidade no que diz respeito à mudança de moradia, o que comprometeria todo o estudo. O histórico bem como demais características de cada família foram confirmados com base no cadastro existente na Cohab.

A montagem do conjunto de equipamentos nas cinco unidades habitacionais escolhidas iniciou ainda em fevereiro de 2013 com o apoio de um técnico. Durante as instalações não houve a interferência na forma como a família utiliza o sistema ou na limpeza do coletor solar. As famílias foram informadas que o sistema estava sendo monitorado para verificações técnicas e que elas estariam contribuindo para melhoria do seu desempenho em novos conjuntos. O mesmo questionário realizado com a família na primeira etapa de pesquisa foi

---

17 O empreendimento analisado possui coletores solares horizontais e verticais. Coletores verticais foram instalados em unidades com cobertura orientada para Leste e Oeste e coletores horizontais foram instalados em unidades com cobertura orientada para Norte e Sul.

novamente aplicado durante as instalações dos equipamentos. O objetivo era atualizar as rotinas de banho e verificar eventuais alterações de uso e funcionamento do sistema e de composição da família.

As vazões de água quente e fria foram medidas, antes e após a instalação do hidrômetro Q2 da unidade do agrupamento 5. O objetivo foi verificar a perda de carga no ponto de consumo devido à introdução do hidrômetro. Para isso foram medidos tanto a vazão da água fria como da água quente, ambos com abertura de três voltas no registro. O volume escoado foi medido durante um minuto. Três medições foram realizadas antes e após a instalação do hidrômetro. Os materiais utilizados foram:

- (a) um balde de 10 litros;
- (b) uma proveta de vidro graduada em mililitros e;
- (c) um cronômetro.

Nas demais unidades, foram obtidas as vazões de água fria anterior à instalação dos hidrômetros Q2. A vazão obtida foi adotada nos cálculos de determinação da demanda de energia na linha de base. Também foram obtidas as vazões de água quente após a instalação dos hidrômetros Q2.

Em todas as unidades habitacionais, o ângulo de inclinação dos coletores foi obtido com o auxílio de um equipamento medidor de ângulo. O medidor foi posicionado no centro do coletor, indicando a inclinação do coletor em relação a um plano horizontal previamente medido. O desvio em relação ao norte geográfico foi obtido com base no levantamento topográfico solicitado pelas construtoras envolvidas na construção do empreendimento.

## 5.3 RESULTADOS

### 5.3.1 Medições piloto

As intervenções iniciais para instalação do sistema de medição demonstraram que as condições de acesso e manuseio eram difíceis. O apoio de um técnico com domínio em instalações hidráulicas e elétricas foi fundamental no estudo.

O maior problema identificado nas medições piloto ocorreu com os hidrômetros. O hidrômetro Q1, inicialmente foi programado para se posicionar na saída do reservatório térmico, para medição de volume de água quente. Para isso, o hidrômetro deveria estar apto tanto na medição

de água acima de 40°C como para o posicionamento na vertical, conforme garantia o fabricante do equipamento importado. Entretanto, o hidrômetro não registrou fluxo de água quente proveniente do reservatório térmico. A Figura 48 ilustra o hidrômetro importado instalado na posição vertical, na tubulação de saída do reservatório térmico para consumo, entre o forro e o telhado.

Figura 48 - Hidrômetro instalado na saída do reservatório térmico, em medições piloto em unidade habitacional do Residencial Vista Bela.



O hidrômetro Q2, durante os testes, era o único equipamento nacional do conjunto. Foi adotado por apresentar melhor resolução<sup>18</sup> na medição de eventos de banho. A incerteza de resolução é de  $\pm 1$  litro. Devido aos problemas encontrados com o hidrômetro importado, os testes foram conduzidos com hidrômetros nacionais.

O parâmetro obtido com o hidrômetro Q2 é o tempo de banho. O registro da vazão de água em intervalos de um minuto indica quando o evento do banho começa e termina. Nesta tubulação, ocorre a passagem

---

<sup>18</sup> Resolução é a menor diferença entre indicações que pode ser percebida. (Fonte: Gonçalves, 2004).

de água quente proveniente do reservatório térmico. Sendo assim, o hidrômetro deveria estar apto a medir vazão de água com temperatura superior a 40°C. O INMETRO não possui regulamentação para avaliação de conformidade de hidrômetros para a medição de vazão de água com temperatura acima de 40°C.

Os primeiros testes com o hidrômetro Q2 demonstraram problemas na passagem de água quente. O hidrômetro detectava fluxo de água quente, porém, o ponteiro do contador girava lentamente devido à dilatação interna dos componentes. O hidrômetro passou por várias adaptações junto ao fabricante até a obtenção de um bom desempenho na leitura de água quente, permanecendo em teste na unidade até o final das medições piloto.

A partir dos testes, optou-se pela adoção dos hidrômetros nacionais (Q1 e Q2). Um deles (Q1) ao invés de medir vazão de água quente na tubulação de saída do reservatório térmico foi posicionado na tubulação de entrada de água fria, conforme indicado na Figura 35(a), medindo assim, vazão de água a ser aquecida. Como o sistema de aquecimento solar de água funciona a partir de um ciclo fechado, a quantidade de água quente que é consumida pelo usuário corresponde à quantidade de água fria que abastece o sistema. O hidrômetro Q2 permaneceu posicionado no prolongador do chuveiro elétrico, para medição de vazão de água misturada, porém com foco para o parâmetro do tempo de banho.

Durante as medições piloto foi desenvolvido um conjunto rígido de peças hidráulicas para encaixe do hidrômetro Q2 e sensor de temperatura T2, conforme ilustra a Figura 49.

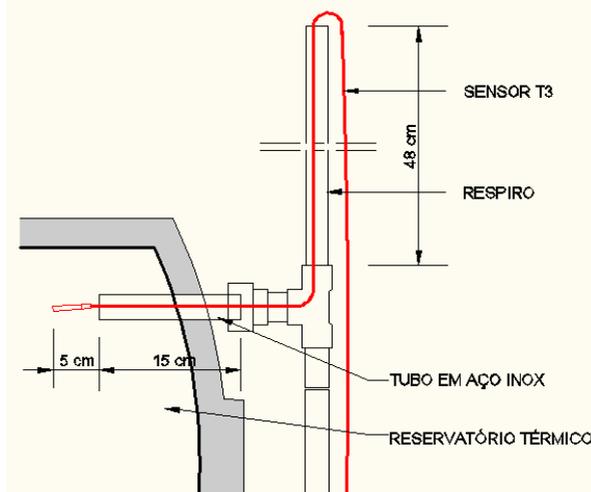
Figura 49 - Conjunto para leitura de vazão de água de banho e temperatura de banho, instalado em unidades habitacionais do Residencial Vista Bela.



Na Figura 49 tem-se: (1) peça em ferro galvanizado para conexão do misturador externo ao conjunto formado pelo hidrômetro; (2) peças de conexão do hidrômetro em cobre; (3) conexão TE em ferro galvanizado para receber o sensor de temperatura T2; (4) peça plástica de fechamento superior da conexão TE, a qual deve ser perfurada para a passagem do sensor T2; (5) peça de conexão do TE com o chuveiro elétrico. O conjunto permitiu a medição do tempo e temperatura de banho.

Para a medição da temperatura no interior do reservatório térmico, a estratégia testada nas medições piloto foi introduzir o sensor T3 através do respiro. O respiro está conectado ao reservatório térmico na mesma tubulação de saída de água quente para consumo. Uma vez que o sensor possa ser introduzido neste local, a medição corresponde à temperatura da água fornecida pelo sistema de aquecimento solar. Testes iniciais foram realizados nas medições piloto verificando se o sensor contornaria a curva de 90° entre o respiro e o interior do reservatório térmico. Com o auxílio de um arame foi possível atravessá-lo. A Figura 50 demonstra um detalhe da conexão do respiro com a saída de água quente do reservatório térmico.

Figura 50 - Detalhe da introdução do sensor de temperatura no interior do reservatório térmico em unidades habitacionais do Residencial Vista Bela.



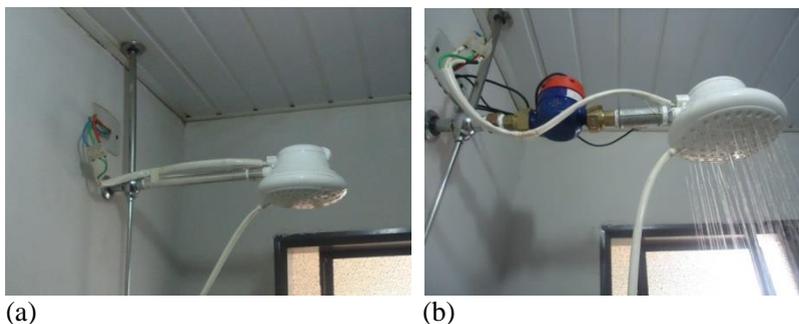
A conexão ocorre por meio de um tubo de aço inox, acoplado ao reservatório térmico. O sensor T3 atravessa o respiro e o tubo em aço

inox até ficar em contato com a água quente. Foi dado um distanciamento de cerca de cinco centímetros entre o final do tubo em aço inox e o bulbo do sensor.

### 5.3.2 Instalação dos equipamentos de medição

O hidrômetro Q2 e o sensor de temperatura T2 foram instalados no local do prolongador do chuveiro elétrico. A Figura 51 ilustra a substituição do prolongador pelo conjunto rígido desenvolvido para o estudo.

Figura 51 - (a) Prolongador do chuveiro elétrico antes da instalação e (b) substituição do prolongador pelo conjunto de medição de vazão e temp. da água, em unidade habitacional do Residencial Vista Bela.



As vazões de banho, obtidas na unidade do agrupamento 5, apresentaram pequena redução após a instalação do hidrômetro Q2. A redução da vazão de água fria foi de 2,88% e a redução da vazão de água quente foi de 2%. Os valores são baixos e, segundo os moradores das cinco unidades, não afetou a qualidade do banho. As vazões obtidas estão descritas na Tabela 4.

Tabela 4 - Vazões de água fria e quente do chuveiro elétrico, medidas em unidades habitacionais do Residencial Vista Bela.

Unidades monitoradas	Anterior à instalação do hidrômetro Q2		Após instalação do hidrômetro Q2	
	Vazão de água fria (l/min)	Vazão de água quente (l/min)	Vazão de água fria (l/min)	Vazão de água quente <sup>A</sup> (l/min)
<b>A1</b>	2,71	4,18 <sup>A</sup>	2,63 <sup>A</sup>	4,1
<b>A2</b>	4,07	5,79 <sup>A</sup>	3,95 <sup>A</sup>	5,67
<b>A3</b>	*	*	*	*
<b>A4</b>	3,18	4,62 <sup>A</sup>	3,09 <sup>A</sup>	4,53
<b>A5</b>	3,13	4,51	3,04	4,42

<sup>A</sup> – vazões calculadas com base nos erros obtidos em A5

\* - Dados não puderam ser medidos na unidade.

O sensor T2 foi posicionado no interior da tubulação de maneira que o bulbo ficasse em contato apenas com a mistura da água do banho, conforme a Figura 52.

Figura 52 - Posicionamento do sensor de temperatura da água do banho (T2) no prolongador do chuveiro elétrico em unidade habitacional monitorada.



A peça plástica branca foi perfurada para a passagem do sensor T2, e vedada com cola plástica. A área de contato do cabo do sensor com a cola plástica foi protegida com uma fita isolante.

Os cabos do sensor T2 e do fechamento de contato (C1) do hidrômetro Q2 foram conduzidos pelo eletroduto do chuveiro elétrico até a superfície sobre o forro de PVC, para conexão com o sistema de aquisição de dados. Com exceção dos sensores Q2 e T2, todos os demais equipamentos de medição foram posicionados sobre o forro.

O hidrômetro Q1 foi instalado na tubulação de alimentação exclusiva do reservatório térmico com água fria da rede. Na unidade do agrupamento 5, o sensor T1 foi posicionado na mesma tubulação, conforme a Figura 53. Assim como o sensor T2, o sensor T1 foi inserido na tubulação por meio de um conector TE, porém em PVC.

Figura 53 - Instalação de hidrômetro (Q1) e sensor de temperatura (T1) na tubulação de alimentação do reservatório térmico com água fria, em unidade habitacional monitorada.



Os sensores de temperatura T3 foram introduzidos no reservatório térmico através do respiro, por meio de solução testada durante as medições piloto. Para a introdução do sensor, primeiramente é fechado o registro de água da rede. A tubulação em EPDM de saída da água quente para consumo é desconectada do conjunto. A água quente é eliminada até atingir o nível abaixo da tubulação de saída de água quente para consumo. Posteriormente, o respiro é desconectado do conjunto. O sensor T3 é introduzido pelo respiro mantendo o

comprimento de seu cabo livre em 20 cm (Figura 54), contados do bulbo do sensor até o ponto de contato do tubo em aço com a conexão do respiro.

Figura 54 – Ajuste do cabo do sensor de temperatura junto ao respiro, para a medição da temperatura na saída de água quente do reservatório térmico em unidade habitacional monitorada.



A Figura 55 demonstra o sensor sendo colocado no interior do reservatório.

Figura 55 - Instalação do sensor de temperatura no interior do reservatório térmico (a) e após sua instalação (b) em unidade habitacional monitorada.



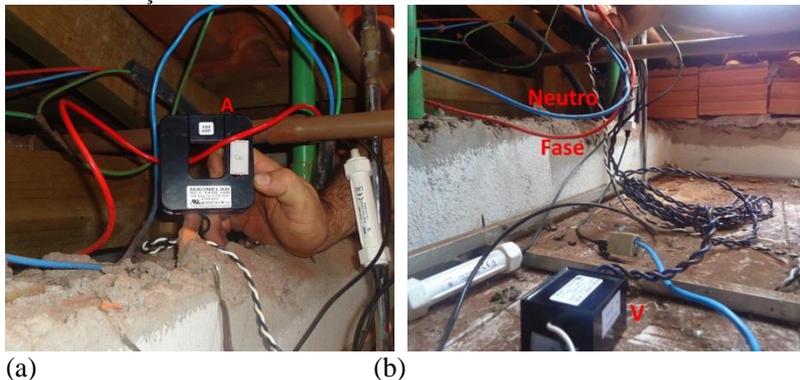
(a)



(b)

Os sensores de corrente (A) e de tensão (V) foram posicionados no circuito elétrico de alimentação do chuveiro elétrico conforme ilustra a Figura 56.

Figura 56 - Sensores de corrente - A (a) e de tensão - V (b) no circuito de alimentação do chuveiro elétrico em unidade habitacional monitorada.



O módulo de conexão dos sensores de corrente e tensão ao sistema de aquisição de dado (C2) foi fixado na estrutura em madeira do telhado, conforme demonstra a Figura 57. Foi respeitada a distância mínima de um metro do módulo de conexão ao sistema de aquisição de dados, conforme indicada pelo fabricante.

Figura 57 - Módulo de conexão dos sensores de corrente e tensão instalado na estrutura do telhado em unidade habitacional monitorada.



Com o auxílio de um suporte metálico, o piranômetro foi fixado na estrutura do coletor solar, assumindo o mesmo ângulo de inclinação, conforme a Figura 58.

Figura 58 - Instalação do piranômetro na estrutura do coletor solar em unidade habitacional monitorada.



O sistema de aquisição de dados foi posicionado próximo da abertura de acesso ao forro do banheiro. O equipamento ficou suspenso, fixado sobre uma prancha de madeira. Após a instalação de todos os sensores, os respectivos cabos foram conectados ao sistema de aquisição de dados, conforme demonstra a Figura 59. Posteriormente foi realizado o aterramento e a alimentação do sistema. O alimentador do sistema foi conectado ao circuito elétrico de iluminação de cada unidade monitorada. Na ausência de energia elétrica o sistema utilizava sua própria bateria.

Os sensores foram configurados no software *HOBOWare PRO* (ONSET, 2010). Após a programação do intervalo de coleta e de amostragem dos dados, a plataforma *HOBOLink* foi acessada, permitindo identificar e testar os sensores de medição.

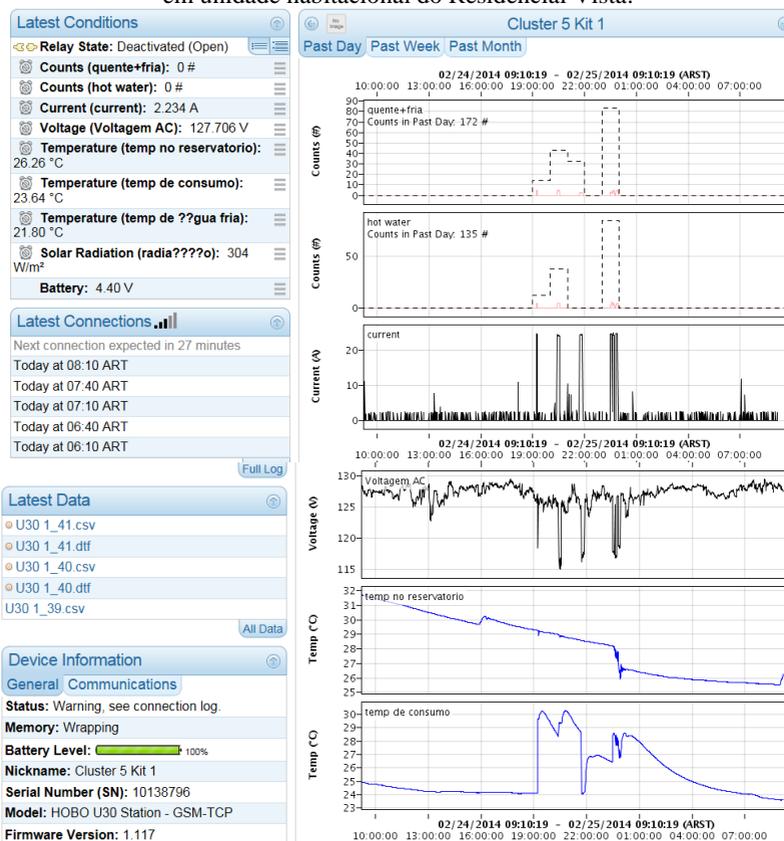
Figura 59 - Instalação do sistema de aquisição e transferência de dados sobre o forro do banheiro, em unidade habitacional monitorada.



### 5.3.3 Monitoramento em tempo real e erros detectados

Na plataforma *HOBOLink*, todos os dados medidos no Residencial Vista Bela eram acessados diariamente em tempo real, com atualização a cada 30 minutos. Uma interface gráfica permitia visualizar os resultados de medição de temperatura, energia e fluxo de água simultaneamente conforme é demonstrado na Figura 60. Os dados referem-se à unidade do agrupamento 5, no dia 25 de fevereiro de 2014. Neste dia, a intensidade de irradiação solar estava baixa, assim como a temperatura no interior do reservatório térmico, sendo necessário o uso da resistência elétrica do chuveiro elétrico. Com a temperatura da água quente em torno de 29°C, às 19 horas, o usuário a complementou utilizando potência do chuveiro elétrico em torno de 2800 W (morno).

Figura 60 - Interface gráfica de análise dos dados monitorados em tempo real em unidade habitacional do Residencial Vista.



Fonte: [www.hobolink.com](http://www.hobolink.com), acesso restrito (2014).

A contribuição mais importante das análises em tempo real foi detectar erros grosseiros de medição. Após alguns meses de monitoramento, observou-se que as condições de temperatura elevada não permitiam obter resultados confiáveis de volume de água misturada para o banho, pelo hidrômetro Q2, em algumas unidades. Em condições de alta temperatura, o contador do hidrômetro girava mais lentamente. Porém, a função do hidrômetro Q2 nas medições realizadas foi quantificar o tempo de banho com a detecção de fluxo de água. Com o apoio dos demais sensores que ajudavam a caracterizar a ação, pode-se atingir tal objetivo com segurança.

Erros grosseiros ocorreram principalmente com os hidrômetros na unidade do agrupamento 4 (A4). Em 15 de março de 2013, o dispositivo do hidrômetro Q1, que envia sinal de pulso ao fechamento de contato, apresentou problemas. Ele foi substituído por outro hidrômetro, porém preparado para leitura de água quente. Em 25 de maio de 2013, o hidrômetro Q2 foi substituído devido ao erro de leitura na passagem de água com temperatura elevada. Em 23 de outubro de 2013, novamente o hidrômetro Q1 foi substituído, por apresentar problemas de leitura na vazão mínima. Na ocasião, o hidrômetro Q2 também foi substituído. Da mesma forma, pode-se detectar problemas com o hidrômetro Q2 na unidade do agrupamento 2. Em 21 de maio de 2013, o hidrômetro foi substituído após problemas na passagem de água quente. As demais unidades não apresentaram problemas de medição ao longo do monitoramento.

Em 12 de maio de 2013, os sensores de temperatura no interior do reservatório térmico (T3) foram reposicionados após análises obtidas por meio do monitoramento em tempo real. No momento da instalação, o cabo do sensor na saída do respiro foi posicionado com 10 cm livre do tubo de inox. Com isso, o sensor permanecia em contato com uma mistura de água quente em um nível mais baixo do que da saída de água quente para o consumo. Isso foi observado quando o usuário abria somente o registro de água quente. Neste caso, a temperatura em T2 deveria ser relativamente menor do que a temperatura em T3. Percebeu-se que T2 apresentava valor relativamente maior do que T3, em décimos de graus Celsius. Com isso, o cabo do sensor T3 foi reposicionado com 5 cm livre do tubo de inox, assim como demonstrado anteriormente, na Figura 54.

O monitoramento em tempo real também permitiu verificar erros de comunicação entre sensores e o sistema de aquisição de dados. Por meio da plataforma hobolink, o sistema de comunicação era reiniciado e reestabelecido. Para a detecção rápida dos erros, foi programado um alarme onde sempre que houvesse falha de comunicação entre sensor e sistema de aquisição de dados, era enviado um aviso por meio de um endereço eletrônico. Os erros eram relativos à falha de comunicação por um dos sensores. O funcionamento dos demais sensores permitia saber se estava ocorrendo algum evento de banho naquele momento. Sem eventos de banho, os valores permaneciam iguais a zero. Poucos erros ocorreram no momento de eventos de banho. Neste caso, assumiu-se a mesma rotina de banho do dia anterior, quando dia útil, ou do final de semana anterior. Em raras ocasiões, ocorreram erros de comunicação

com o sensor T3. Neste caso, dados perdidos não foram substituídos ou zerados. Apenas não foram adotados nas médias.

Ao término do monitoramento, as alterações nas instalações hidráulicas foram refeitas assim como o sistema elétrico. Os moradores se mostraram satisfeitos em participar do estudo. Entretanto uma das unidades habitacionais não pertencia mais aos antigos moradores. Estes haviam se mudado há cerca de dois meses do término do monitoramento, não comprometendo os dados do estudo. Salienta-se que monitoramentos prolongados requerem a garantia da permanência dos moradores nas unidades, algo que não pode ser controlado em uma pesquisa.

### **5.3.4 Calibrações em laboratório**

As calibrações realizadas em laboratório permitiram compreender as condições em que se encontravam os sensores e se os erros inviabilizariam os resultados obtidos.

As verificações realizadas com os sensores de temperatura, anterior ao monitoramento, demonstraram resultados de leitura muito próximos entre eles, com variações em centésimos de graus Celsius. As dúvidas de precisão dos sensores estavam relacionadas ao seu período de exposição prolongada e, portanto, o foco foi dado aos resultados de calibração realizados após o monitoramento.

A curva padrão obtida para os sensores T1, T2 e T3, é demonstrada respectivamente nas Figuras 61, 62 e 63. Os sensores T2 e T3, com numerações de 1 a 5 referem-se às unidades habitacionais A1, A2, A3, A4 e A5, monitoradas.

O sensor T1 permaneceu, durante todo o monitoramento, em contato apenas com água fria. Os erros contidos no intervalo de temperaturas entre 15°C e 30°C, comumente obtidas no local, apresentaram-se entre 0,1 e -0,1°C.

Os resultados de calibração obtidos para os sensores de temperatura de banho (T2) indicaram que os erros, mesmo nas temperaturas de 70°C, não ultrapassaram 0,3°C. Para a temperatura de 40°C, comumente adotada nos banhos, os erros ficaram próximos de 0,2°C a -0,25°C.

Figura 61 - Curva padrão para sensor de temperatura de água fria, obtida após o período de medição em unidade habitacional monitorada.

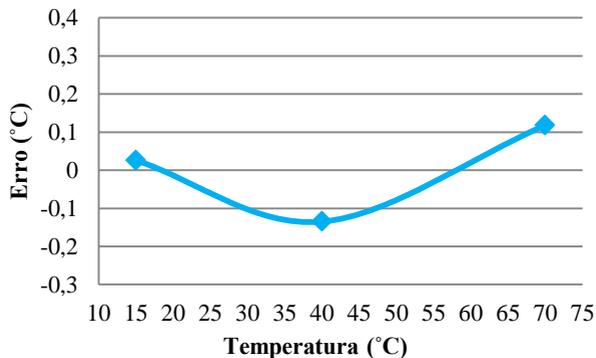
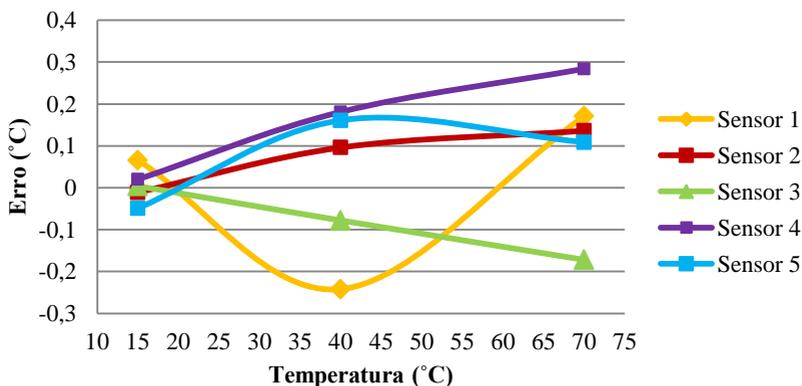


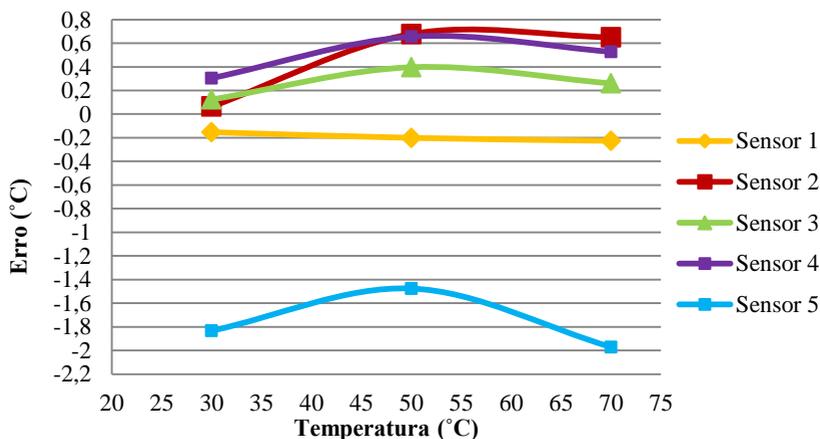
Figura 62 - Curva padrão para sensores de temperatura de banho (T2) com o sistema de aquecimento solar, obtida após o período de medição em unidades habitacionais monitoradas.



Os sensores de temperatura que ficaram submersos em água quente no interior do reservatório térmico (T3) por um período superior a um ano, apresentaram erros superiores aos demais termômetros (Figura 63). Com exceção do sensor 5, posicionado na unidade do agrupamento 5, os demais sensores apresentaram erro entre  $-0,2^{\circ}\text{C}$  e  $0,7^{\circ}\text{C}$  no intervalo de temperatura de  $30^{\circ}\text{C}$  a  $70^{\circ}\text{C}$ . Já o sensor 5 apresentou erro que chegou a  $-2^{\circ}\text{C}$ . O sensor 5 foi adotado nas medições piloto, ficando submerso em água quente por um período superior aos demais sensores, chegando a 20 meses. É provável que a duração

prolongada de medição em condições de alta temperatura tenha afetado a precisão do sensor.

Figura 63 - Curva padrão para sensores de temperatura no reservatório térmico, obtida após o período de medição em unidades habitacionais monitoradas.



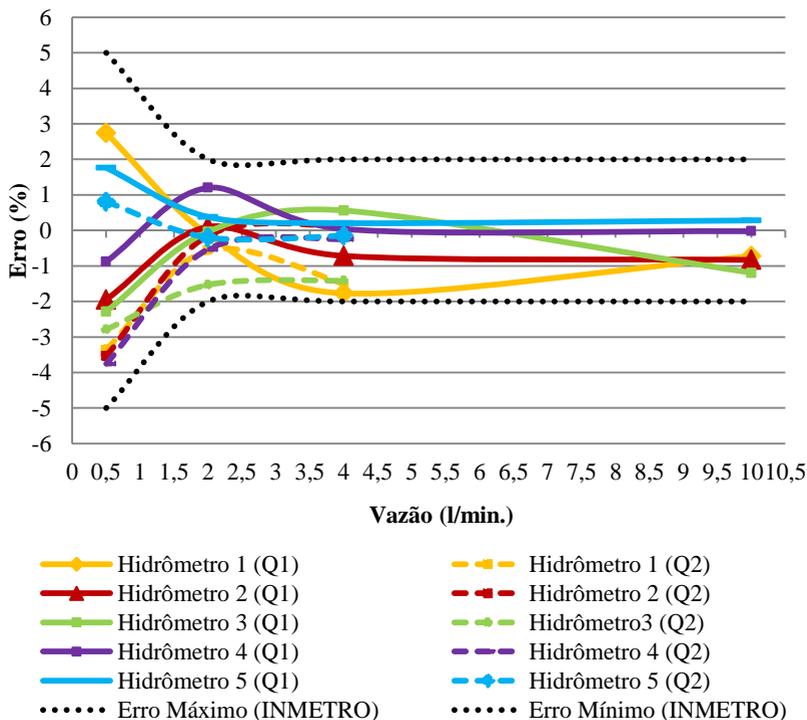
Com relação aos sensores de corrente e tensão, obteve-se os erros de indicação após o período de monitoramento. Conforme a Tabela 5, o erro máximo para o sensor de corrente chegou a -2,3% em relação ao multímetro padrão. Para o sensor de tensão obteve-se erro máximo de -2,63%. Tais erros não foram considerados significativos e não afetam a qualidade dos resultados finais.

Tabela 5 - Erros de indicação para os sensores de corrente e tensão, após o período de monitoramento em unidades habitacionais.

<b>Erro de indicação - Sensores de corrente alternada (A)</b>					
	Sensor 1 (A1)	Sensor 2 (A2)	Sensor 3 (A3)	Sensor 4 (A4)	Sensor 5 (A5)
Erro médio (%)	-1,2	1,1	-2,3	0,44	0,55
Desvio padrão	0,0013	0,0041	0,0023	0,0036	0,0018
<b>Erro de indicação - Sensores de tensão (V)</b>					
	Sensor 1 (A1)	Sensor 2 (A2)	Sensor 3 (A3)	Sensor 4 (A4)	Sensor 5 (A5)
Erro médio (%)	-2,63	-0,23	-1,05	-0,4	-1
Desvio padrão	0,006	0,0016	0,001	0,0017	0,0008

Com relação aos hidrômetros pulsados, as calibrações antes e após o monitoramento foram importantes. Os ensaios realizados antes do monitoramento indicaram que cinco dos dez hidrômetros apresentavam erro superior ao estabelecido em BRASIL (2000b). Quanto ao sensor de pulso, um deles estava enviando cerca de dois pulsos a cada litro medido, e outro não estava funcionando. Todos os hidrômetros com problemas foram substituídos pelo fabricante e novamente submetidos a testes. A Figura 64 demonstra a curva de erro obtida para os 10 hidrômetros finais adotados no estudo, após a substituição de parte deles pelo fabricante. Os erros obtidos encontram-se dentro das limitações definidas em BRASIL (2000b).

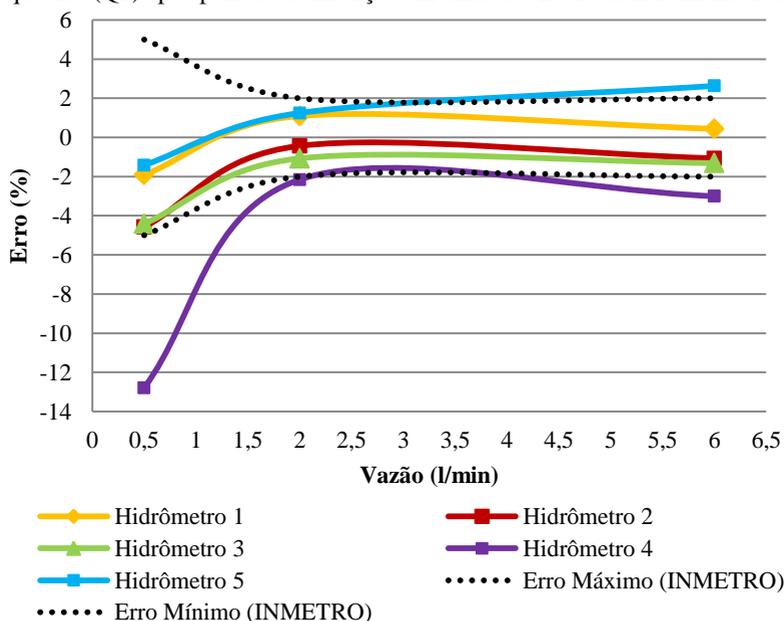
Figura 64 - Curva padrão para hidrômetros de leitura de vazão de água a ser aquecida (Q1) e vazão de água de banho (Q2) calibrados antes do monitoramento em unidades habitacionais monitoradas.



Os ensaios realizados com os hidrômetros Q2, após o período de monitoramento, demonstraram boas condições para todo o conjunto no que se refere ao desempenho do sensor de pulso. Em relação ao

hidrômetro Q1, o ensaio de erro de indicação foi realizado novamente, após o período de monitoramento. O registro de fluxo de água em Q1 permitiu compreender as ações de banho com uso do sistema de aquecimento solar, bem como mensurar o volume mensal de água quente proveniente do reservatório térmico. Assim, foi importante definir o erro envolvido na mensuração deste resultado. A Figura 65 demonstra a curva de erro obtida para os hidrômetros Q1 após o período de monitoramento.

Figura 65 – Curva Padrão para hidrômetros de leitura da vazão de água a ser aquecida (Q1) após período de medição em unidades habitacionais monitoradas.



Percebe-se claramente que o hidrômetro 4, adotado no agrupamento 4, não atende às exigências mínimas de erro de indicação do INMETRO, principalmente para a vazão mínima de 0,5 l/min. As observações realizadas durante o monitoramento em tempo real permitiram identificar problemas com o hidrômetro. Ele foi instalado na unidade em 23 de outubro de 2013, substituindo outro hidrômetro com problemas no sensor de pulso. Ambos haviam sido ajustados pelo fabricante para medições de água quente. Neste sentido, entende-se que o ajuste para leitura de água quente pode ter comprometido as medições

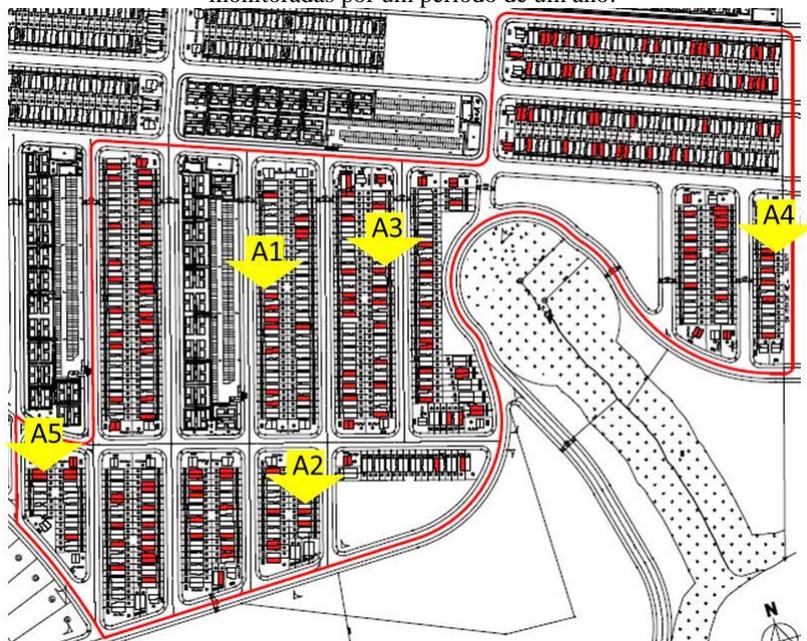
de água fria, nas vazões mínimas, ao longo do monitoramento. Percebeu-se que, anterior ao monitoramento, os ensaios realizados com os hidrômetros ajustados para leitura de água quente (Q2), tiveram desempenho satisfatório na indicação do volume de água fria escoado. Os hidrômetros que apresentaram problemas haviam sido calibrados pelo próprio fabricante, durante o período de monitoramento, com erros dentro do estabelecido pelo INMETRO.

Quanto ao piranômetro, as verificações em laboratório foram realizadas antes do monitoramento. O erro máximo obtido chegou a - 6,33% em relação aos valores médios obtidos em Frota (2001).

### 5.3.5 Caracterização das famílias e unidades de medição

As unidades habitacionais das cinco famílias representativas dos subgrupos homogêneos estão localizadas de acordo com a Figura 66. As nomenclaturas A1, A2, A3, A4, A5, correspondem às famílias e sistemas monitorados ao longo de um ano, representantes dos agrupamentos formados.

Figura 66 - Localização das unidades habitacionais (A1, A2, A3, A4 e A5) monitoradas por um período de um ano.



### 5.3.5.1 Representante A1 – Baixo potencial de economia de energia

A família representante do agrupamento 1 (A1) é o 13º caso mais próximo do centro médio do grupo. Houve dificuldade na escolha da família contida no agrupamento de idosos. A maioria das famílias apresentava desconfiança e não desejava fazer parte do estudo. O fato das moradias próprias para idosos e pessoas com necessidades especiais estarem posicionadas principalmente em lotes de esquina com coletores solares na vertical, também dificultou a escolha da família do grupo dos idosos.

As características mais importantes que definem o agrupamento foram encontradas dentre elas, a presença de uma idosa, sem escolaridade. Anterior à mudança para o Residencial Vista Bela a família possuía moradia própria, em boas condições de salubridade. Possuía chuveiro elétrico e pagava a conta de energia elétrica. Entretanto ocupava uma área de preservação ambiental. Na moradia antiga, a família era composta por cinco pessoas, incluindo a usuária idosa, e gastava cerca de R\$ 80,00 com a conta de energia. A atual moradia é composta por duas pessoas, sendo elas a idosa e uma criança. Gastam, em média, R\$ 60,00 com a conta de energia, com economia acima da média do grupo. A família não possuía subsídio na conta de energia elétrica.

As informações levantadas inicialmente indicavam a presença de três pessoas, sendo elas uma idosa, o filho e a neta. A segunda entrevista realizada durante as instalações dos equipamentos confirmou a presença de três pessoas. Entretanto, no início do monitoramento observou-se que o filho não morava com a família. Na atual moradia, o sistema de aquecimento solar estava em condições normais de uso e o sistema auxiliar de aquecimento era o originalmente instalado pela construtora. Tanto a usuária idosa como a criança, apresentavam domínio para mistura da água do banho e demonstravam não ter problemas com o sistema. Declararam preferência por banhos após as 21 horas.

Em relação à unidade habitacional (Figura 67), o telhado está orientado para o sul. A estrutura de suporte permitiu a orientação do coletor solar para o norte geográfico com desvio azimutal de + 16° e inclinação de 26,8°.

Figura 67 - Vista externa (a) e interna (b) da unidade habitacional representante do subgrupo homogêneo A1, monitorada ao longo de um ano.



### 5.3.5.2 Representante A2 – Sem potencial de economia de energia

A família representante do agrupamento 2 (A2) é o 4º caso mais próximo do centro médio do grupo. Caracteriza-se por uma família insatisfeita com o sistema de aquecimento solar, sem percepção de economia na conta de energia. A família é composta por cinco pessoas sendo elas um casal, duas crianças e uma adolescente. As informações de composição familiar, inicialmente levantadas, se mantinham no momento da instalação dos equipamentos. Entretanto, a instabilidade de emprego de um dos membros da família não preservou a rotina de banho estabelecida na entrevista inicial. Também não existia um padrão de rotina de banho para as crianças, fato que não permitiu confrontar com a informação inicialmente declarada. Anterior à mudança para o Residencial Vista Bela, a família ocupava uma moradia emprestada provisoriamente. Utilizava o chuveiro elétrico e gastava R\$ 36,00 com a conta de energia. Na atual moradia o gasto médio é de R\$ 45,00. Nas duas situações, as contas são subsidiadas e os valores referem-se apenas ao excedente dos 100 kWh consumidos. A família demonstrava insatisfação com o sistema de aquecimento solar com queixas devido à dificuldade para misturar a água do banho, prevalecendo a água quente. As crianças mencionavam que conseguiam resolver o problema posicionando a chave do chuveiro elétrico no morno ou quente. Desta forma, a temperatura da água do banho era facilmente obtida. De fato, a unidade apresentava condições mais difíceis para mistura da água do banho. As vazões de água quente e fria apresentavam-se maiores do que

nas demais unidades monitoradas. Entretanto, o consumo de energia era elevado devido à presença de vários equipamentos eletrodomésticos e de um refrigerador de alto consumo. O chuveiro elétrico era o originalmente instalado na unidade.

O sistema de aquecimento solar apresentava-se com o vidro do coletor quebrado, sendo substituído por outro no momento das instalações dos equipamentos. O telhado está orientado para o norte. A estrutura de suporte manteve o desvio azimutal de  $+16^\circ$  e inclinação do coletor solar de  $44,4^\circ$ . A Figura 68 apresenta uma vista do sistema de aquecimento solar ainda com o vidro quebrado (a) e vista interna parcial da cozinha (b).

Figura 68 - Imagem do sistema de aquecimento solar anterior à troca do vidro do coletor solar (a), e vista parcial da cozinha (b), na unidade habitacional representante do subgrupo homogêneo 2 (A2), monitorada ao longo de um ano.



(a)



(b)

### 5.3.5.3 Representante A3 – Bom potencial de economia de energia

A família representante do agrupamento 3 é o 9º caso mais próximo do centro médio do grupo. A presença da mulher como chefe de família é identificada. A família é composta por uma mulher jovem, viúva, chefe de família, com duas crianças. Porém, logo após o início do monitoramento, abrigou a irmã com um bebê recém-nascido. Na entrevista realizada no dia da instalação, a proprietária não mencionou esta mudança mesmo quando questionada se havia planos de abrigar alguém em sua moradia. A família definitiva acabou sendo composta por duas mulheres adultas, duas crianças e um bebê, porém preservando a existência da mulher chefe de família. A mulher chefe de família

permanecia fora de casa, trabalhando ao longo do dia. As crianças, no período de ausência da mãe, permaneciam na casa do avô até o final do dia, quando retornavam para casa. Com a presença da irmã, a qual se mudou logo após o início do monitoramento, as crianças passaram a ficar em casa e iniciaram uma nova rotina de banho com o sistema de aquecimento solar. A conta mensal de energia elétrica não era subsidiada na moradia anterior. Declarou que dividia a casa com a cunhada e gastava cerca de R\$ 40,00 com a conta de energia. Após a mudança, o gasto médio com a conta de energia se manteve. O subsídio na conta de energia passou a ocorrer após junho de 2012, não interferindo nos dados levantados junto à concessionária.

O sistema de aquecimento solar apresentava funcionamento normal e o chuveiro elétrico era o originalmente instalado na unidade. O telhado está orientado para o sul. A estrutura de suporte permitiu a orientação do coletor solar para o norte geográfico com desvio azimutal de  $+16^\circ$  e inclinação do coletor solar de  $26,8^\circ$ . A Figura 69 ilustra uma vista externa (a) e interna (b) da unidade.

Figura 69 - Vista externa (a) e interna (b) da unidade habitacional representante do subgrupo homogêneo 3 (A3), monitorada ao longo de um ano.



(a)



(b)

#### 5.3.5.4 Representante A4 – Economia de energia desconhecida

A família representante do agrupamento 4 é o 3º caso mais próximo do centro médio do grupo. Anteriormente, morava em condições insalubres, em um assentamento localizado em área irregular, e praticava ligação clandestina na rede. A família é composta por um casal com duas crianças. Na atual moradia não possuía um padrão de rotina de banho, sendo modificada por conta da mudança de emprego de um dos membros. A família desconhecia o benefício do subsídio dos primeiros 100 kWh na conta de energia, embora o tivesse na atual moradia. Mesmo com o benefício, o valor da conta de energia elétrica permanecia elevado devido ao alto consumo da família. Declararam estar muito satisfeitos com o sistema de aquecimento solar e o operavam com facilidade.

O chuveiro elétrico havia sido trocado pela família por um modelo eletrônico, o qual não permitia a instalação de equipamentos no seu prolongador. Para o estudo, o chuveiro foi substituído por um modelo com bojo de maior diâmetro e com quatro chaves de temperatura, obtendo condições de conforto compatível com o que o usuário já possuía. O telhado está orientado para o norte. A estrutura de suporte manteve o desvio azimutal de  $+16^\circ$  e inclinação do coletor solar de  $41,5^\circ$ . A Figura 70 apresenta uma vista lateral externa (a), e vista interna (b) referente à unidade habitacional representativa do agrupamento A4.

Figura 70 - Vista lateral externa (a) e interna (b) da unidade habitacional representante do subgrupo homogêneo 4 (A4), monitorada ao longo de um ano.



(a)



(b)

### 5.3.5.5 Representante A5 – Bom potencial de economia de energia

A família representante do agrupamento 5 é o 10º caso mais próximo do centro médio do grupo. É composta por um casal com uma filha jovem e uma criança. Pertence ao subgrupo que obteve os melhores resultados estimados de economia na conta de energia. O comportamento dos usuários dominado pelo chefe de família demonstrava, no momento das instalações, comprometimento com a economia de água e energia elétrica. Anteriormente, ocupavam moradia em condições de insalubridade. Pagavam a conta de energia sem subsídio e utilizavam o chuveiro elétrico. Na atual moradia, possuem uma rotina de banho bem definida. Recebem subsídio na conta de energia e conseguem zerá-la na maioria dos meses. Possuem bom domínio do sistema sem dificuldade para misturar a água do banho. Estão muito satisfeitos com o sistema de aquecimento solar.

O chuveiro elétrico foi substituído pelo morador por outro com quatro chaves de temperatura. O caimento do telhado está orientado para o norte. A estrutura de suporte manteve o desvio azimutal de  $+ 16^\circ$  e inclinação do coletor solar de  $43,1^\circ$ . A Figura 71 apresenta uma vista externa (a), e vista interna (b) da unidade habitacional.

Figura 71 - Vista externa (a) e vista interna (b) da unidade habitacional representante do subgrupo homogêneo 5 (A5), monitorada ao longo de um ano.



(a)



(b)

As variações de características técnicas entre os sistemas de aquecimento solar monitorados são descritas na Tabela 6.

Tabela 6 – Características do coletor solar e sistema auxiliar de energia, instalados nas cinco unidades habitacionais (A1, A2, A3, A4 e A5) do Residencial Vista Bela.

	Orientação do telhado	Desvio azimutal coletor solar	Inclinação coletor solar	Potência chuveiro elétrico (W)	Níveis de potência do chuveiro (W)
A1	Sul	16°	26,8°	4500	0 2800 4500
A2	Norte	16°	44,4°	4500	0 2800 4500
A3	Sul	16°	26,8°	4500	0 2800 4500
A4	Norte	16°	41,5°	4800	0 2000 3000 4800
A5	Norte	16°	43,1°	5500	0 2000 3600 5500

A Tabela 7 apresenta um resumo dos principais atributos que caracterizam as famílias escolhidas, atualizados no momento de preparação do experimento de medição nas unidades.

Tabela 7 – Caracterização das famílias do Residencial Vista Bela, representantes dos cinco subgrupos homogêneos.

Atributos	A1	A2	A3	A4	A5
<b>nº de pessoas</b>	2	5	5	4	4
<b>Composição</b>	Idosa - 64 anos	esposa - 44 anos	mulher chefe de família - 26 anos	esposa - 33 anos	esposa - 38 anos
	criança - 7 anos	marido - 34 anos	irmã - 28 anos	marido - 39 anos	marido - 35 anos
		criança - 8 anos	criança - 6 anos	criança - 4 anos	criança - 3 anos
		criança - 10 anos	criança - 10 anos	criança - 9 anos	jovem - 19 anos
		adolesc. - 13 anos	bebê - recém-nascido		
<b>Grau de escolaridade do entrevistado.</b>	nunca estudou (idososa)	ensino fund. incompleto (casal)	ensino médio (chefe de família)	ensino fund. completo (marido)	ensino médio (marido)
<b>Renda (R\$)</b>	652,00	630,00	770,00	700,00	1300,00
<b>uso do chuveiro elétrico - antiga moradia</b>	sim	sim	sim	não (uso da lenha)	sim
<b>Pag. da conta de energia na antiga moradia</b>	sim	sim	sim	não (lig. clandestina na rede)	sim
<b>Subsídio na conta de energia<sup>A</sup> na atual moradia</b>	não	sim	sim	sim	sim
<b>Consumo mensal de água (m<sup>3</sup>) Jan-Jun 2012</b>	7,83	13,83	7,5	12,83	9,83
<b>Consumo mensal de energia (kWh) - ano 2012</b>	112,17	155,08	85,58	138,75	79,08
<b>Consumo mensal de energia (kWh) - ano 2013</b>	114,33	205,00	95,92	169,08	88,17
<b>Consumo mensal de energia (kWh) Jan-Jun 2014</b>	126,67	185,83	117,5	181,33	108,00 <sup>B</sup>

<sup>A</sup> - atualizado no momento das instalações e confirmado no dia da desinstalação.

<sup>B</sup> - Média de consumo de janeiro a maio de 2014. Em junho a família se mudou da unidade.

## **6 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USUÁRIO NOS RESULTADOS DE ECONOMIA**

### **6.1 INTRODUÇÃO**

As medições realizadas ao longo de um ano permitiram compreender como as famílias representantes dos subgrupos homogêneos utilizam o sistema de aquecimento solar. Permitiu compreender também quais e como os fatores de influência, específicos deste contexto, afetam o uso do sistema pelas famílias e, conseqüentemente, a economia de energia obtida. Por meio do sistema de medição desenvolvido, um procedimento para identificar ações de banho e de funcionamento do sistema foi definido. Diferentes perfis de família, cada um com suas especificidades previamente conhecidas, forneceram diferentes resultados de economia de energia. Para isso, um cenário sem sistema de aquecimento solar foi obtido para cada subgrupo monitorado. As análises finais de consumo e economia de energia e de redução na demanda máxima de pico foram obtidas para cada representante dos subgrupos homogêneos, analisando assim, a influência do usuário nos resultados de economia.

### **6.2 MÉTODO DE PESQUISA**

#### **6.2.1 Procedimento para identificar ações de uso e funcionamento do sistema de aquecimento solar**

Com base no sistema de medição desenvolvido puderam ser identificadas as ações de banho com o uso do sistema de aquecimento solar e com o chuveiro elétrico, bem como o funcionamento do sistema. A Tabela 8 demonstra os sensores analisados para identificação das diferentes ações.

Todos os eventos de banho foram obtidos por meio do registro de vazão de água pelo hidrômetro Q2. Os registros de evento de banho são obtidos quando Q2 apresenta-se maior do que zero. Ao mesmo tempo, os resultados medidos pelos demais sensores são avaliados em conjunto de acordo com a ação ocorrida. Desta forma, é possível caracterizar a ação com segurança. Com a identificação dos eventos de banho, pode-se quantificar o tempo de banho mensal (horas/mês) com o uso do sistema de aquecimento solar, do chuveiro elétrico e com o uso do sistema de aquecimento solar em conjunto com o chuveiro elétrico.

Tabela 8 - Ações de banho e de funcionamento do sistema de aquecimento solar, detectados no monitoramento das unidades habitacionais.

Ações detectadas		Sensores alterados						Observação
		Q1	Q2	T1	T2	T3	A+V	
1	Banho com uso do sistema de aquecimento solar	√	√	√	√	√		Ausência do uso da resistência elétrica (A+V)
2	Banho com uso do chuveiro elétrico		√				√	Verifica-se a temp. em T3. Temp. em T2 não aumenta.
3	Banho com uso do chuveiro elétrico e aproveitamento da água quente do solar	√	√	√	√	√	√	Aproveita-se a água pré-aquecida pelo sistema de aquecimento solar.
4	Banho com água fria		√					Temp. em T2 não aumenta.
5	Funcionamento da válvula anticongelamento	√		√				Temp. em T2 apresenta-se próxima de 12°C. Ação típica noturna que se estende ao início da manhã.
6	Falta de água fria da rede de abastecimento durante banho com sistema de aquec. solar.		√		√			Para caracterizar a falta de água da rede as ações 6 e 7 devem ser identificadas.
7	Retorno da água fria da rede de abastecimento	√		√				

Alterações em Q1, Q2 e T1, T2 e T3 caracterizam um banho com sistema de aquecimento solar (ação 1 da Tabela 8). O uso da água quente proveniente do reservatório térmico é caracterizado quando os valores medidos em Q1 e Q2 se encontram maiores do que 0. Juntamente com as ações em Q1 e Q2, a temperatura em T2 deve se elevar para caracterizar um banho com uso do sistema de aquecimento solar. O aumento da temperatura do banho pode ser observado logo no primeiro minuto do banho. Ao término do banho, em T2 inicia uma redução gradativa da temperatura. Na ação, os sensores T1 e T3 também se alteram.

Alterações em Q2, juntamente com alterações de corrente elétrica (A) em conjunto com a tensão (V) caracteriza um banho com o acionamento da resistência do chuveiro elétrico e, portanto há consumo de energia elétrica (ação 2 da Tabela 8). Com base na análise da temperatura em T3 pode-se quantificar a eficiência no uso do chuveiro

elétrico pela família. O tempo de banho mensal com uso do chuveiro elétrico foi subdividido com base em duas condições:

(a) Tempo de banho com uso eficiente do chuveiro elétrico: quando a temperatura em T3 se encontra menor ou igual a 43°C e;

(b) Tempo de banho com uso ineficiente do chuveiro elétrico: quando a temperatura em T3 se encontra acima de 43°C.

A condição “a” representa um nível básico de uso eficiente da resistência elétrica do chuveiro. A condição “b” foi observada buscando identificar os fatores que motivaram o usuário à decisão de acionar a resistência do chuveiro elétrico mesmo tendo disponível água quente no reservatório térmico. A adoção da temperatura limite de 43°C ocorreu com base nas medições de temperatura de banho medidas, neste estudo, durante o período de inverno.

Alterações em Q2, juntamente com alterações em A e V, e em Q1, T1, T2 e T3, caracterizam um banho com uso da resistência elétrica e aproveitamento da água quente do reservatório térmico (ação 3 da Tabela 8). Neste caso, o usuário aciona a resistência elétrica porque a temperatura em T3 se encontra menor ou igual a 43°C (condição “a”), e utiliza somente a água do reservatório térmico. A ação representa um nível mais avançado de eficiência no uso da resistência elétrica. Nesta situação, T3 se iguala a T2. Em uma ação ineficiente de uso, ocorre a abertura tanto do registro de água quente como o de água fria, sem o objetivo de aproveitar a água pré-aquecida pelo sistema de aquecimento solar. Neste caso, T3 e T2 mantêm-se com diferentes temperaturas.

Alterações em Q2 somente, sem o registro de fluxo de água em Q1, sem aumento de temperatura em T2 e sem o uso da resistência elétrica do chuveiro, caracteriza o banho com água fria (ação 4 da Tabela 8).

A abertura da válvula anticongelamento ocorre em dias de baixa temperatura do ar, principalmente na ausência da incidência da radiação solar na superfície do coletor. A ação 5 (Tabela 8) é observada quando ocorre vazão de água somente em Q1, sem passar por Q2. Neste caso observa-se a temperatura em T2, a qual se mantém próxima de 12°C. O termostato presente na válvula está programado para sua abertura quando a temperatura da água no interior do coletor solar atinge 12°C. Abaixo desta temperatura, a água do coletor solar é liberada e substituída pela água fria do reservatório térmico. Posteriormente, o reservatório é reabastecido com água da rede, detectando assim, vazão de água em Q1. Desta forma, o volume de água mensal consumido para

o funcionamento da válvula anticongelamento pode ser quantificado em separado do volume de água quente consumido pela família.

A falta de água da rede de abastecimento (ação 6 da Tabela 8) não possibilita o uso do sistema de aquecimento solar pela família. Ela pode ser detectada quando, no início do evento de banho com o sistema de aquecimento solar, ocorre o aumento da temperatura em T2, sem registro de vazão de água em Q1. Neste caso, o sistema de aquecimento solar de água está fornecendo água quente sem ser abastecido por água fria da rede, utilizando a água da mini caixa d'água. Após um ou dois minutos, a vazão de água quente se reduz devido à ausência de água fria para sua alimentação. Na sequência, o evento de banho é continuado apenas com a água fria da caixa d'água ou com o uso da resistência elétrica do chuveiro, partindo de uma decisão do usuário. A confirmação da ação de falta de água da rede ocorre somente com o retorno da água (ação 7 da Tabela 8) da rede abastecendo a mini caixa d'água. Neste momento, registra-se vazão em Q1 apenas, em quantidade semelhante à de saída de água quente ocorrida no início do evento de banho.

Todas as ações de banho e de funcionamento do sistema de aquecimento solar foram identificadas individualmente, buscando a compreensão dos fatores que influenciaram as decisões tomadas pelos usuários. Com o uso da ferramenta de filtro do software Excel, cores diferenciadas foram atribuídas às diferentes ações.

### **6.2.2 Determinação da linha de base e de resultados de economia**

Determinar a economia de energia onde o sistema de aquecimento solar é instalado antes da ocupação da edificação por uma família requer a construção de uma linha de base ou a medição em um grupo de controle. O protocolo internacional da EVO (2003) define como “novas edificações” aquelas cujo sistema é instalado antes da unidade ser ocupada e, portanto, não existe um histórico de uso da energia anterior à instalação da tecnologia. No caso das unidades do Residencial Vista Bela, objeto deste estudo, a tecnologia foi instalada antes da ocupação pelas famílias.

A medição em um grupo de controle representando um cenário sem sistema de aquecimento solar requer maior investimento financeiro. Ao mesmo tempo, as incertezas decorrentes das variações ocupacionais são grandes.

Diante da ausência de histórico de consumo, foi desenvolvido um procedimento para obter a linha de base em novos conjuntos

habitacionais com sistema de aquecimento solar. O procedimento proposto segue uma das abordagens definidas em EVO (2003) como sendo “desempenho de referência calculado”.

Para a linha de base, o sistema de aquecimento de água adotado foi o aquecedor elétrico de passagem, predominante neste contexto. A questão foi: preservando as condições de temperatura obtidas com o sistema de aquecimento solar, qual seria a demanda de energia utilizando apenas o chuveiro elétrico?

A potência necessária para aquecer a água a mesma temperatura obtida com o sistema de aquecimento solar foi obtida com base na equação 9:

$$P_{\text{útil}} = (Q_m * C_p * (T_{AQ} - T_{AF})) \quad (9)$$

Onde:

$P_{\text{útil}}$  = Potência útil mensal necessária para aquecer a água (W);

$Q_m$  = Vazão mássica (kg/s);

$C_p$  = Calor específico da água, de 4186 J/(kg.°C);

$T_{AQ}$  = Temperatura média mensal da água do banho com uso do sistema de aquecimento solar (°C);

$T_{AF}$  = Temperatura média mensal da água fria da rede (°C).

Para o estudo, adotou-se vazão mínima de água no chuveiro elétrico correspondente a 3 l/min ou 0,05 kg/s, sugerido na NBR 15569 (ABNT, 2008).

A temperatura média mensal da água do banho com sistema de aquecimento solar ( $T_{AQ}$ ) foi obtida por medição, considerando apenas os eventos de banho com registro de fluxo em Q2 juntamente com Q1. Dentre a amostra formada por cinco representantes dos subgrupos homogêneos, adotou-se a temperatura média mensal de banho da família com maior domínio para mistura da água do banho.

A temperatura média mensal da água fria da rede ( $T_{AF}$ ) foi obtida por medição, considerando apenas os eventos com registro de fluxo em Q1 na unidade habitacional do agrupamento 5.

Considerando que a eficiência energética do chuveiro elétrico deve ser de no mínimo 95% (INMETRO, 2014), os 5% de perdas são adicionados conforme a Equação 10. A potência média mensal do chuveiro elétrico na linha de base será de:

$$P_{CH} = P_{\text{útil}} + (0,05 * P_{\text{útil}}) \quad (10)$$

Onde:

$P_{CH}$  = Potência média mensal do chuveiro elétrico (W);

Pútil = Potência útil mensal necessária para aquecer a água (W);

0,05 = perda de eficiência energética máxima de 5%.

Desta forma obteve-se uma linha de base padrão para as cinco famílias monitoradas, no que se refere à potência do chuveiro elétrico em um cenário sem o sistema de aquecimento solar.

### **6.2.2.1 Consumo de energia elétrica nos cenários com e sem sistema de aquecimento solar**

Para a determinação do consumo de energia elétrica no cenário sem sistema de aquecimento solar, foram consideradas as particularidades relacionadas aos padrões de banho de cada família monitorada. Os eventos de banho com água quente, registrados durante o monitoramento, foram preservados para construção de um cenário sem o sistema de aquecimento solar. Os horários, tempo e frequência de banho, medidos ao longo de um ano foram adotados como rotina de banho no cenário sem sistema de aquecimento solar. Assim, as condições climáticas influentes bem com as características de uso do sistema pela família, tanto no cenário sem sistema de aquecimento solar quanto no cenário com o sistema, são as mesmas, sem a necessidade de ajustes.

Todos os eventos de banho com uso de água quente, seja proveniente do sistema de aquecimento solar (ação 1 da Tabela 8), do chuveiro elétrico (ação 2), ou do sistema de aquecimento solar em conjunto com o chuveiro elétrico (ação 3), foram adotados como eventos de banho com água quente no cenário sem sistema de aquecimento solar. Com os eventos de banho registrados em intervalo de dados de um minuto, obteve-se o tempo total de banho no mês com o uso de água quente.

Com a potência calculada para a linha de base e tempo de banho total com água quente obtido com base nas ações 1, 2 e 3 da Tabela 8, pode-se obter o consumo de energia elétrica mensal no cenário sem sistema de aquecimento solar para cada família monitorada, conforme a equação 11.

$$Cmês_{SS} = P_{CH} * TBmedido_{AQ} \quad (11)$$

Onde:

$Cmês_{SS}$  = Consumo mensal de energia elétrica, em cenário sem sistema de aquecimento solar, para aquecer a água do banho, em kWh;

$P_{CH}$  = Potência média do chuveiro elétrico, em kW, determinada na equação 10;

$TB_{medido_{AQ}}$  = Tempo total de banho (horas/mês) com uso de água quente, medido no cenário com sistema de aquecimento solar.

Para o cenário com o sistema de aquecimento solar, o consumo de energia foi obtido por medição, com base nos parâmetros da equação 12

$$Cmês_{CS} = P_{medido_{CH}} * TB_{medido_{AQ_{CH}}} \quad (12)$$

Onde:

$Cmês_{CS}$  = Consumo mensal de energia elétrica obtido no cenário com sistema de aquecimento solar, em kWh;

$P_{medido_{CH}}$  = Potência média mensal do chuveiro elétrico, obtida por medição, em kW;

$TB_{medido_{AQ_{CH}}}$  = Tempo mensal de banho com água quente, com o uso do chuveiro elétrico, obtido por medição, em horas.

Obteve-se o consumo de energia elétrica médio por pessoa, necessário para aquecer a água do banho. O número de pessoas por família pode ser identificado na Tabela 7. A presença de um bebê recém-nascido não foi considerada na quantidade de pessoas contidas no agrupamento 3.

Os resultados por pessoa, obtidos para os cinco agrupamentos analisados foram extrapolados para a amostra do estudo. Obteve-se o consumo médio ponderado, considerando o número de casos contidos em cada agrupamento, conforme é demonstrado na equação 13.

$$Cmês_{MÉDIO_{PER}} = (Cmês_{PER_{A1}} * 0,15) + (Cmês_{PER_{A2}} * 0,22) + (Cmês_{PER_{A3}} * 0,23) + (Cmês_{PER_{A4}} * 0,16) + (Cmês_{PER_{A5}} * 0,24) \quad (13)$$

Onde:

$Cmês_{MÉDIO_{PER}}$  = Consumo médio mensal per capita, necessário para aquecer a água do banho;

$Cmês_{PER A1}$  = Consumo mensal per capita, necessário para aquecer a água do banho, obtido para a família contida no agrupamento 1, que representa 15% da amostra;

$Cmês_{PER A2}$  = Consumo mensal per capita, necessário para aquecer a água do banho, obtido para a família contida no agrupamento 2, que representa 22% da amostra;

$Cmês_{PER A3}$  = Consumo mensal per capita, necessário para aquecer a água do banho, obtido para a família contida no agrupamento 3, que representa 23% da amostra;

$Cmês_{PER A4}$  = Consumo mensal per capita, necessário para aquecer a água do banho, obtido para a família contida no agrupamento 4, que representa 16% da amostra;

$Cmês_{PER A5}$  = Consumo mensal per capita, necessário para aquecer a água do banho, obtido para a família contida no agrupamento 5, que representa 24% da amostra.

O consumo médio ponderado foi obtido para os cenários sem e com sistema de aquecimento solar.

#### **6.2.2.2 Economia de energia com o sistema de aquecimento solar**

A economia de energia mensal foi obtida com base na equação 14:

$$EEmês = Cmês_{SS} - Cmês_{CS} \quad (14)$$

Onde:

$EEmês$  = Energia economizada no mês, pelo sistema de aquecimento solar, em kWh;

$Cmês_{SS}$  = Consumo de energia no mês, para aquecer a água do banho em cenário sem o sistema de aquecimento solar, em kWh;

$Cmês_{CS}$  = Consumo de energia no mês, para aquecer a água do banho em cenário com o sistema de aquecimento solar, em kWh.

Obteve-se a economia de energia por pessoa, para cada agrupamento e, a economia de energia média por pessoa, com base no consumo médio ponderado.

Nesta etapa, pode-se quantificar a economia de energia estimada com o uso eficiente do sistema. Com a análise dos fatores que afetam a

economia de energia e que levaram ao acionamento da resistência elétrica do chuveiro mesmo com a disponibilidade de água quente no reservatório térmico, quantificou-se o tempo de banho com uso ineficiente. Entende-se pelo uso ineficiente, os eventos de banho com uso da resistência elétrica cuja temperatura no reservatório térmico estava acima de 43°C. O impacto na economia de energia pode ser analisado relacionando-o com os fatores que motivaram o uso incorreto do sistema.

### **6.2.2.3 Participação do sistema no consumo total de energia nos cenários com e sem sistema de aquecimento solar**

Os dados de consumo total de energia nas cinco unidades habitacionais foram disponibilizados pela concessionária de energia local para o período de abril de 2013 a março de 2014. Já o consumo de energia total em cenário sem sistema de aquecimento solar foi obtido conforme a equação 15.

$$CTmês_{SS} = CTmês_{CS} + EEmês \quad (15)$$

Onde:

$CTmês_{SS}$  = Consumo total de energia no mês, em cenário sem o sistema de aquecimento solar, em kWh;

$CTmês_{CS}$  = Consumo total de energia no mês, em cenário com o sistema de aquecimento solar, em kWh, disponibilizado pela concessionária de energia elétrica;

$EEmês$  = Energia economizada no mês, pelo sistema de aquecimento solar, em kWh.

Oteve-se a participação do sistema de aquecimento de água frente ao consumo de energia total, nos cenários com e sem o sistema de aquecimento solar. A redução no consumo total de energia devido ao uso do sistema de aquecimento solar também foi obtida.

### **6.2.2.4 Demanda de energia elétrica nos cenários com e sem sistema de aquecimento solar**

Para a obtenção da demanda de energia no cenário sem sistema de aquecimento solar, a potência média mensal ( $P_{CH}$ ) encontrada na equação 10 foi assumida em todos os eventos de banho com água quente

registrados em intervalos de um minuto, no mês. Assumindo que a demanda é a potência média integrada em um determinado intervalo de tempo, e considerando os intervalos de medição da demanda pela concessionária de energia local, determinou-se a demanda média de 15 minutos.

A demanda de energia elétrica no cenário com sistema de aquecimento solar foi obtida com base na medição da potência do chuveiro elétrico. Assim como a demanda no cenário sem sistema de aquecimento solar, obteve-se a demanda média integrada em um intervalo de 15 minutos.

A demanda diária de energia elétrica, em média mensal, foi obtida para cada agrupamento analisado, nos cenários com e sem sistema de aquecimento solar. Obteve-se a demanda para os dias úteis. As curvas de carga diárias obtidas em média mensal, para cada família monitorada, puderam ser observadas com foco no uso da energia no horário de pico, entre 18 e 21 horas.

Por fim, determinou-se a demanda média ponderada conforme a equação 16.

$$D_{15 \text{ min}} \text{ MÉDIA} = (D_{15 \text{ min } A1} * 0,15) + (D_{15 \text{ min } A2} * 0,22) + (D_{15 \text{ min } A3} * 0,23) + (D_{15 \text{ min } A4} * 0,16) + (D_{15 \text{ min } A5} * 0,24) \quad (16)$$

Onde:

$D_{15 \text{ min}} \text{ MÉDIO}$  = Demanda média ponderada, obtida para cada intervalo de 15 minutos;

$D_{15 \text{ min } A1}$  = Demanda de energia elétrica, obtida para cada intervalo de 15 minutos, necessária para aquecer a água do banho, obtido para a família representante do agrupamento 1;

$D_{15 \text{ min } A2}$  = Demanda de energia elétrica, obtida para cada intervalo de 15 minutos, necessária para aquecer a água do banho, obtido para a família representante do agrupamento 2;

$D_{15 \text{ min } A3}$  = Demanda de energia elétrica, obtida para cada intervalo de 15 minutos, necessária para aquecer a água do banho, obtido para a família representante do agrupamento 3;

$D_{15 \text{ min } A4}$  = Demanda de energia elétrica, obtida para cada intervalo de 15 minutos, necessária para aquecer a água do banho, obtido para a família representante do agrupamento 4;

$D_{15 \text{ min } A5}$  = Demanda de energia elétrica, obtida para cada intervalo de 15 minutos, necessária para aquecer a água do banho, obtido para a família representante do agrupamento 5.

Desta forma, foi construída uma curva de carga média ponderada diária, em média mensal, representativa da amostra do estudo. A curva foi construída para os cenários sem e com o sistema de aquecimento solar.

### 6.2.2.5 Redução na demanda máxima de pico

A redução na demanda máxima de pico foi calculada com base na equação 17:

$$RD_{PICO} = D_{MÁX PICO SS} - D_{MÁX PICO CS} \quad (17)$$

Onde:

$RD_{PICO}$  = Redução na demanda máxima de pico, em kW;

$D_{MÁX PICO SS}$  = Demanda máxima obtida entre 18:00 e 20:59, no cenário sem solar, em kW;

$D_{MÁX PICO CS}$  = Demanda máxima obtida entre 18:00 e 20:59, no cenário com solar, em kW.

Obteve-se a redução mensal na demanda máxima de pico para cada agrupamento e para a demanda média ponderada.

### 6.2.2.6 Fração solar anual

A fração solar anual foi obtida com base na equação 18:

$$F = \frac{\sum_{12} EE \text{ mês}}{\sum_{12} Cmês SS} \quad (18)$$

Onde:

F = Fração solar anual (adimensional);

$\sum_{12} EE \text{ mês}$  = somatório da energia economizada pela família, devido ao uso do sistema de aquecimento solar, no ano, em kWh;

$\sum_{12} Cmês SS$  = somatório da energia que seria consumida pela família em cenário sem sistema de aquecimento solar, no ano, em kWh.

## 6.3 RESULTADOS

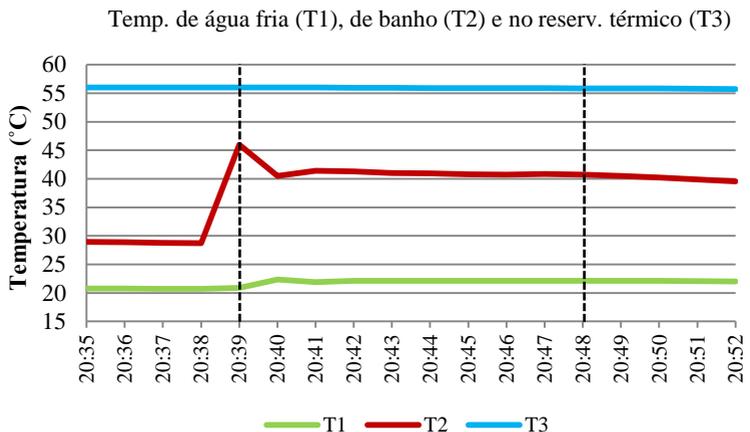
### 6.3.1 Domínio para mistura da água quente

A dificuldade para mistura da água do banho, relatada por muitas famílias durante as entrevistas, foi observada nas medições. O procedimento mais comum para mistura da água do banho ocorre com a abertura do registro de água quente até o aquecimento da água e, posteriormente, a abertura do registro da água fria. Banhos com temperaturas em T2 estabilizadas indicam domínio na mistura da água do banho. Já os banhos com temperatura em T2 com grandes variações indicam dificuldade para mistura da água do banho e conseqüentemente, baixo nível de conforto. Tal condição motiva o usuário a acionar a resistência elétrica do chuveiro e assim obter uma temperatura de banho estabilizada e confortável. Neste sentido, a falta de domínio do usuário para mistura da água do banho afeta significativamente os resultados de economia de energia.

A Figura 72 ilustra um evento de banho, com duração de 10 minutos, delimitado pela linha tracejada nos gráficos a e b, no horário entre 20:39 e 20:48. O aumento da temperatura em T2 (a) assim como a detecção de vazão de água em Q1 (b) caracteriza um banho com água quente proveniente do reservatório térmico. A estabilização da temperatura da água do banho (T2) atesta o bom domínio do usuário.

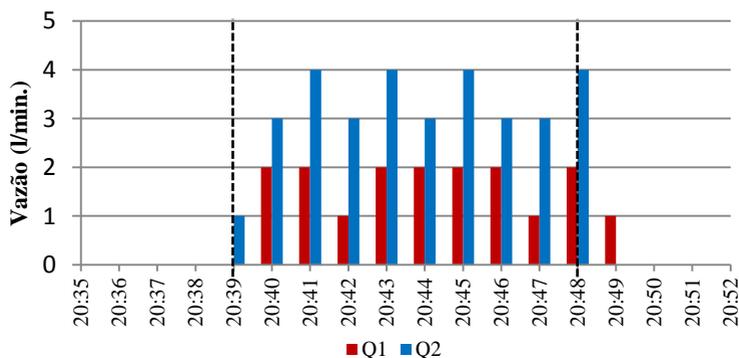
Ainda segunda a Figura 72 (b), percebe-se que a passagem de água em Q2 e Q1 não é registrada simultaneamente. Ao abrir o registro de água quente, inicialmente ocorre a liberação da água contida na tubulação, detectada pelo hidrômetro Q2. Posteriormente, com a saída da água quente do reservatório térmico, este é alimentado com água fria da mini caixa d'água. Somente com a redução do nível de água na mini caixa d'água é que inicia o seu abastecimento com água da rede, ocorrendo assim, a passagem de água em Q1. Com isso, é comum obter registros de fluxo de água em Q1 após um minuto de banho. As vazões de água em Q1 e em Q2 também não são as mesmas, e ao término de um evento de banho, a alimentação da mini caixa d'água pode se prolongar. Assim, Q2 e Q1 não atuam simultaneamente. Q2 detecta o início e o fim de um evento de banho e Q1 ajuda na definição do evento bem como na quantificação do volume mensal de água quente consumido pelo sistema.

Figura 72 - Ação de uso do sistema de aquecimento solar sem dificuldades para mistura da água. (a) medição de temperatura, (b) medição de vazão de água. Registro de banho em 07/10/2013, em unidade habitacional contida no agrupamento 5.



(a)

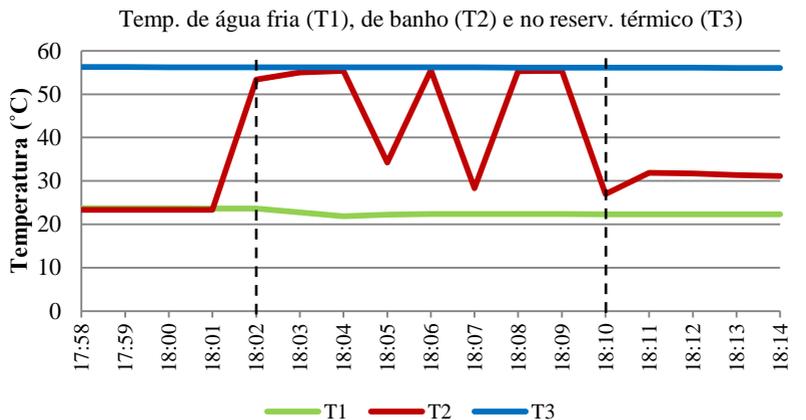
Vazão de água a ser aquecida (Q1) e de banho (Q2)



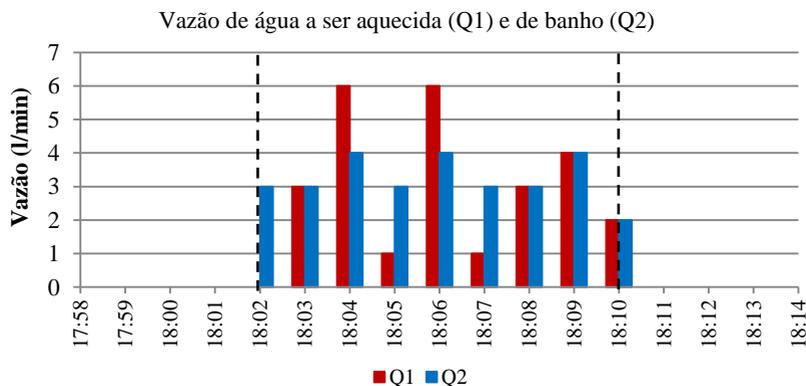
(b)

A Figura 73 demonstra um evento de banho com duração de 9 minutos delimitado pela linha tracejada nos gráficos a e b, no horário entre 18:02 e 18:10, em unidade do agrupamento 2. Neste caso, a temperatura em T2 não se encontra estabilizada. Ora apresenta-se muito quente, e ora muito fria. A oscilação em T2 atesta a dificuldade do usuário para mistura da água do banho.

Figura 73 - Ação de uso do sistema de aquecimento solar com dificuldades para mistura da água: (a) medição de temperatura, (b) medição de vazão de água. Registro de banho em 07/10/2013, em unidade habitacional contida no agrupamento 2.



(a)



(b)

Com base nos registros de banho com água quente do reservatório térmico, foram obtidas as médias mensais das temperaturas em T2, conforme a Tabela 9.

Tabela 9 – Temperatura média mensal de banho com o uso exclusivo do sistema de aquecimento solar.

<b>Temperatura média mensal de banho com uso do SAS (°C)</b>					
<b>mês</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>A5</b>
Jan-14	37,81	38,11	37,72	37,46	38,06
Fev-14	39,68	39,71	37,55	36,16	38,92
Mar-14	41,44	39,63	37,77	37,78	39,66
Abril-13	40,64	40,97	43,25	39,34	40,57
Mai-13	39,49	39,04	43,19	38,59	40,94
Jun-13	<sup>A</sup>	34,51 <sup>B</sup>	42,52	39,21	40,45
Jul-13	<sup>A</sup>	41,85	40,62	39,27	42,92
Ago-13	<sup>A</sup>	42,31	41,56	38,68	42,28
Set-13	38,29	41,29	38,65	37,67	40,15
Out-13	38,00	41,27	39,58	37,76	39,62
Nov-13	37,91	40,10	37,85	36,86	38,75
Dez-13	40,27	38,83	37,57	37,09	38,06
Média anual	39,10	40,02	40,53	38,27	40,42

<sup>A</sup> – Sem uso do sistema de aquec. solar (uso da resistência elétrica)

<sup>B</sup> – Predomínio de banhos com água fria

Não foi identificada dificuldade para mistura da água do banho pelos usuários da família representante do agrupamento 1, mesmo com a presença de uma idosa. O sistema de aquecimento solar foi utilizado exclusivamente durante todo o período de verão. Entretanto, com a chegada de uma frente fria em maio, a família passou a utilizar apenas o chuveiro elétrico, com o entendimento de que durante os meses mais frios o sistema de aquecimento solar não funciona. Assim, dados médios de temperatura de banho não foram obtidos para alguns meses do ano.

Famílias contidas no agrupamento 2 foram as que mais relataram dificuldade para mistura da água do banho. Nas medições, tal dificuldade foi comprovada na unidade representativa do agrupamento. O desconforto durante o banho por não obter a temperatura de banho

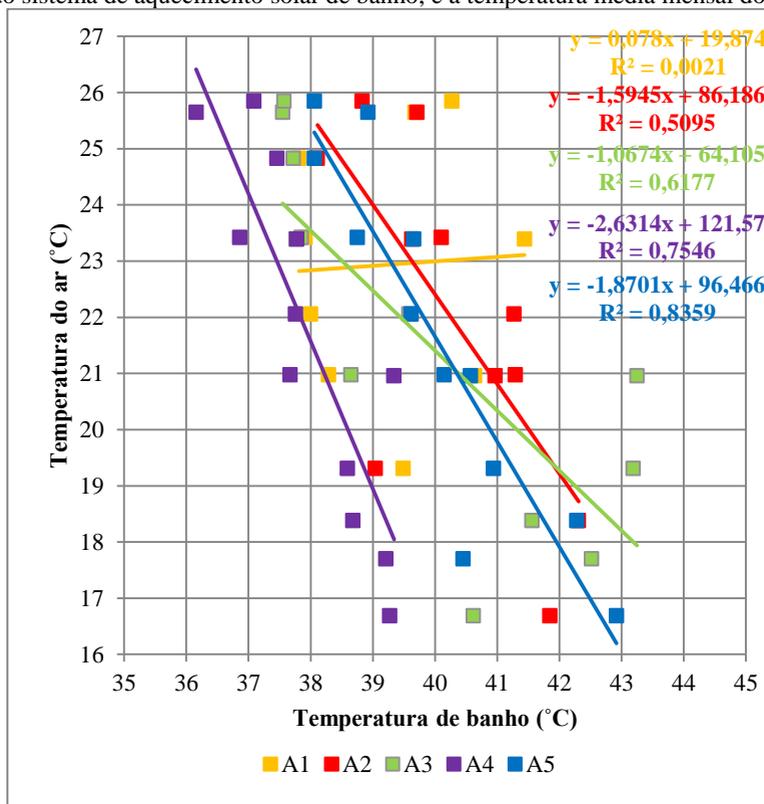
desejável motivou o uso frequente do chuveiro elétrico pela família. As temperaturas médias mensais de banho foram baixas para os meses de inverno, devido ao grande número de eventos de banho com água fria. As temperaturas médias foram altas para os meses de verão devido à dificuldade de mistura da água, prevalecendo a água quente.

A família contida no agrupamento 3 representa o subgrupo com boa economia de energia. Entretanto, durante os primeiros meses de monitoramento, foi observada muita dificuldade para mistura da água do banho. Isso porque, logo no início do monitoramento, uma nova usuária passou a ocupar a moradia, em conjunto com a mãe chefe de família e dois filhos. A nova usuária, irmã da proprietária da unidade, não conhecia os princípios básicos de mistura da água do banho e gerenciava o banho das crianças. As medições demonstraram que os registros de água quente e fria eram utilizados de maneira independente. Ou utilizava-se apenas a água quente do reservatório térmico, ou apenas água fria com o acionamento da resistência elétrica. Posteriormente, deu-se início à tentativa de mistura da água, com domínio do sistema apenas após meses de uso. Apenas a mãe, chefe de família, apresentava bom domínio para mistura da água. As temperaturas médias de banho foram altas nos primeiros meses de monitoramento (abril, maio e junho) devido à incompreensão de como realizar a mistura da água.

A análise de correlação entre a temperatura média mensal de banho e a temperatura média mensal do ar, ao longo do ano, foi obtida para os agrupamentos analisados. A diminuição da temperatura do ar pressupõe eventos de banho com temperatura mais elevada. Nas análises, obteve-se forte correlação entre temperatura do ar e temperatura de banho na unidade do agrupamento 5, conforme é demonstrado na Figura 74. Durante o monitoramento, observou-se claramente o domínio dos membros da família para a mistura da água do banho e obtenção de temperatura confortável e estável.

Obteve-se também uma boa correlação entre a temperatura média mensal de banho e temperatura média mensal do ar na unidade do agrupamento 4, demonstrando que existe uma sintonia entre as variações climáticas exteriores e a temperatura de banho ajustada pela família. Nota-se pela Tabela 9 que os membros da família do agrupamento 4 possuem preferência por banhos mais frios. Nos agrupamentos 2 e 3, a dificuldade para mistura da água refletiu na baixa correlação entre as variáveis analisadas, conforme demonstra a Figura 74. No caso do agrupamento 1, a ausência no uso do sistema de aquecimento solar nos meses de temperatura mais baixa afetou os resultados de correlação.

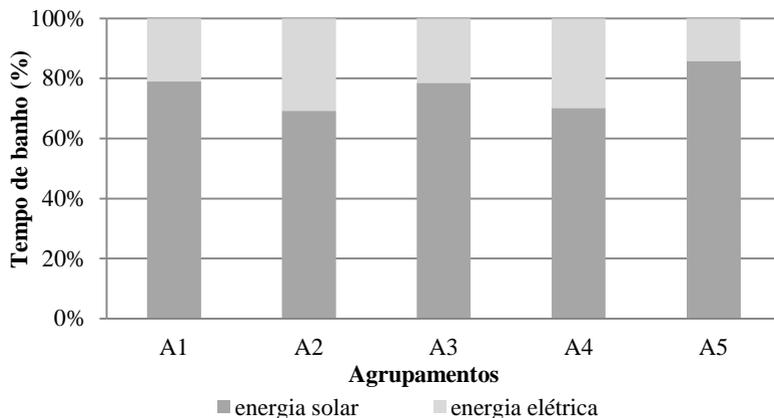
Figura 74 - Correlação entre a temperatura média mensal de banho, com o uso do sistema de aquecimento solar de banho, e a temperatura média mensal do ar.



### 6.3.2 Eficiência no uso do sistema auxiliar de aquecimento

A porcentagem de tempo de banho com o uso do sistema auxiliar de aquecimento é demonstrada na Figura 75. Percebe-se que a família representante do agrupamento 5 obteve o melhor aproveitamento do sistema de aquecimento solar. O uso do sistema auxiliar de aquecimento chegou a apenas 14% do tempo total de banho. Por outro lado, as famílias contidas nos agrupamentos 2 e 4 obtiveram as maiores porcentagens de tempo de banho com uso do sistema auxiliar, chegando a 31% e 29%, respectivamente.

Figura 75 – Porcentagem de tempo total de banho no ano, com uso da energia solar e energia elétrica.

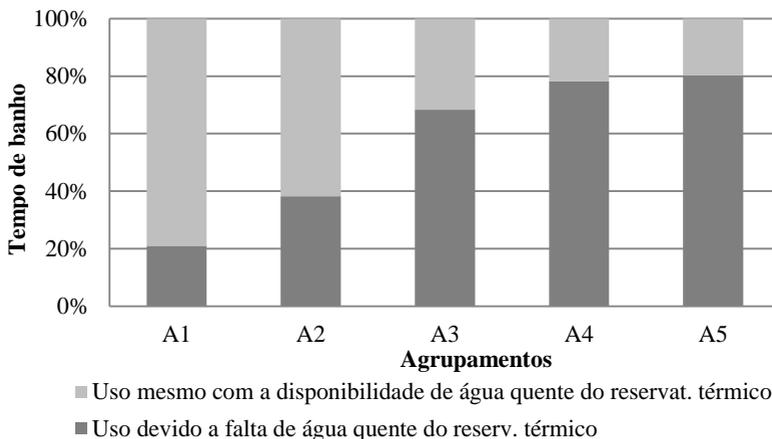


Observou-se que o sistema auxiliar de aquecimento foi utilizado não somente devido à falta de água quente do reservatório térmico, neste caso quando a temperatura está menor ou igual a  $43^{\circ}\text{C}$ . Este foi utilizado mesmo com a disponibilidade de água quente no reservatório térmico. Constatou-se que os fatores que motivaram o acionamento da resistência elétrica do chuveiro de maneira ineficiente foram:

- (a) Devido à dificuldade para misturar a água do banho;
- (b) Devido à falta de entendimento de que mesmo no inverno existe a disponibilidade de água quente;
- (c) Devido à falta de gerenciamento da resistência elétrica por um membro da família;
- (d) Devido à falta de água fria da rede de abastecimento que impede o uso da água do reservatório térmico.

A Figura 76 contém a porcentagem de tempo de banho com uso do chuveiro elétrico, com base na eficiência de uso. A cor cinza escuro representa a porcentagem de banhos em que a resistência elétrica foi acionada porque não havia água quente acima de  $43^{\circ}\text{C}$  no reservatório térmico. A cor cinza claro caracteriza o uso incorreto do sistema auxiliar de aquecimento.

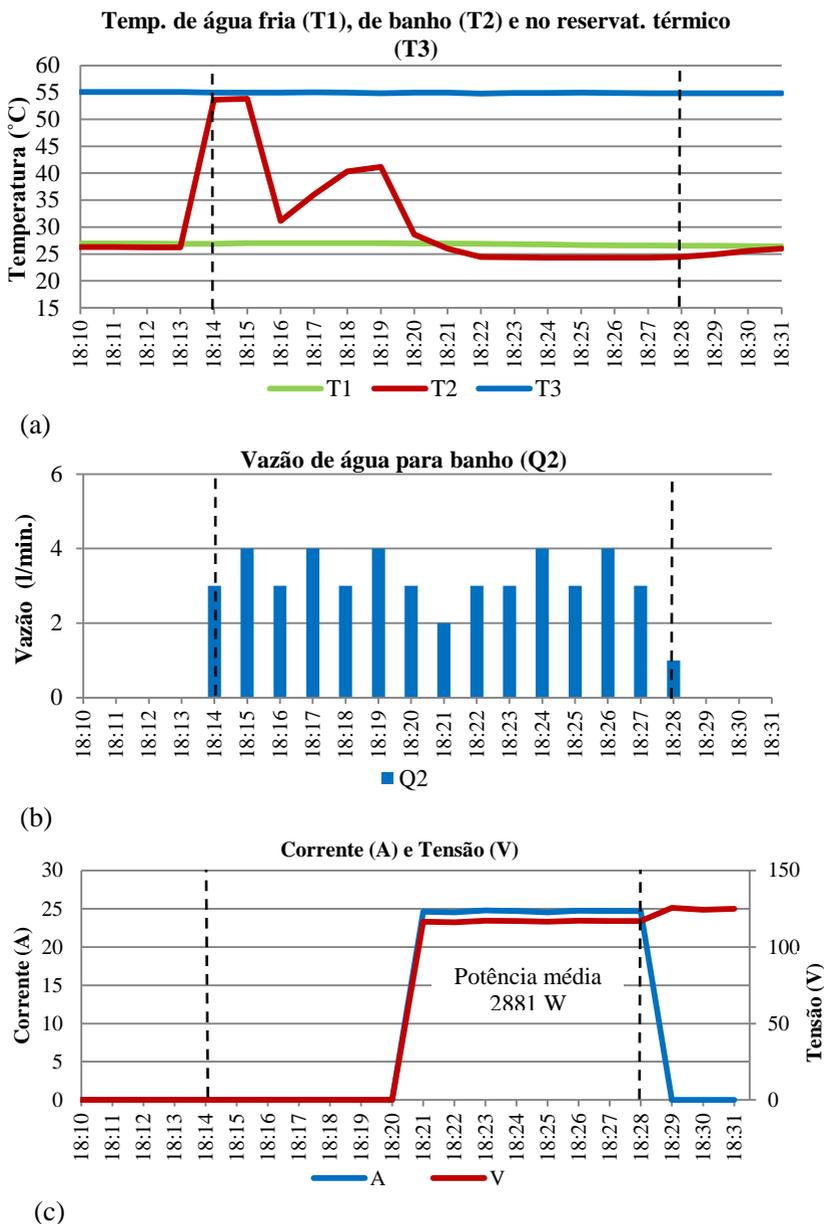
Figura 76 - Porcentagem do tempo de banho com acionamento da resistência elétrica de maneira eficiente (cinza escuro) e ineficiente (cinza claro).



De acordo com a Figura 76, a família representante do agrupamento 5 apresenta a menor porcentagem de tempo de uso ineficiente do chuveiro elétrico. As medições permitiram observar que existe a presença de um líder na família que gerencia o disjuntor do chuveiro elétrico ligando-o apenas com a indisponibilidade de água quente no reservatório térmico. O domínio para mistura da água e obtenção de uma temperatura agradável para o banho favorece o uso eficiente do sistema de aquecimento solar como um todo. Entretanto, o uso indevido do chuveiro elétrico ocorreu em cerca de 20% do tempo de banho total com energia elétrica. As medições permitiram identificar a falta da água da rede de abastecimento e a impossibilidade do uso da água quente do reservatório. A frequência com que ocorreu a falta de água da rede foi maior nesta unidade. O fato da família utilizar corretamente o chuveiro elétrico permitiu identificar as ações decorrentes da falta de água da rede. Elas foram responsáveis por 70% do tempo de uso ineficiente do chuveiro elétrico. O restante do tempo de uso ineficiente ocorreu no último mês de monitoramento, em março de 2014, quando novos usuários passaram a morar com a família.

Na Figura 77 observa-se um evento de banho com a falta de água da rede de abastecimento. A medição da temperatura (a) indica o aumento da temperatura em T2 mesmo sem o registro de fluxo de água em Q1 (b). O usuário, após não conseguir misturar a água, às 18:20, liga o disjuntor do chuveiro elétrico e aciona a resistência elétrica (c).

Figura 77 - Uso do chuveiro elétrico devido à falta de água fria da rede de abastecimento. (a) medição de temperatura, (b) vazão de água, (c) potência. Registro de banho em 08/04/2013, agrupamento 5.



A falta de gerenciamento por um membro da família foi o fator predominante de uso indevido da resistência elétrica no agrupamento 4. Após os eventos de banho com o acionamento da resistência elétrica, os usuários continuam uma sequência de banhos com o uso da energia, mesmo com a disponibilidade de água quente no reservatório térmico.

O agrupamento 3 tem a porcentagem de horas de uso ineficiente do chuveiro elétrico atribuída essencialmente à dificuldade de mistura da água do banho. O tempo de uso não foi superior porque muitas vezes o disjuntor do chuveiro era desligado pela mulher chefe de família no início da manhã, ao sair para o trabalho.

O agrupamento 2 obteve mais de 60% do tempo de banho com acionamento da resistência elétrica utilizado de maneira ineficiente. A porcentagem alta é atribuída à dificuldade para mistura da água e ausência de um líder para gerenciar e instruir o uso correto do sistema.

Por fim, a família representante do agrupamento 1, embora tivesse o domínio para mistura da água do banho, deixou de utilizar o sistema por quatro meses. A compreensão equivocada de que nos dias frios não se tem a disponibilidade de água quente pelo sistema de aquecimento solar refletiu em mais de 80% do tempo de banho com uso ineficiente do chuveiro elétrico.

As Figuras 78 e 79 demonstram a utilização do sistema de aquecimento solar no mês de maio, pelas famílias contidas nos agrupamentos 5 e 2, respectivamente.

Figura 78 – Uso do sistema auxiliar de aquecimento pela família contida no agrupamento 5, em maio de 2013.

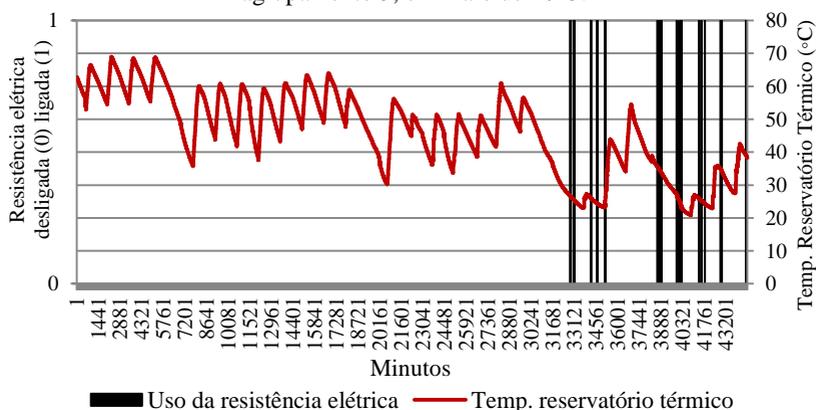
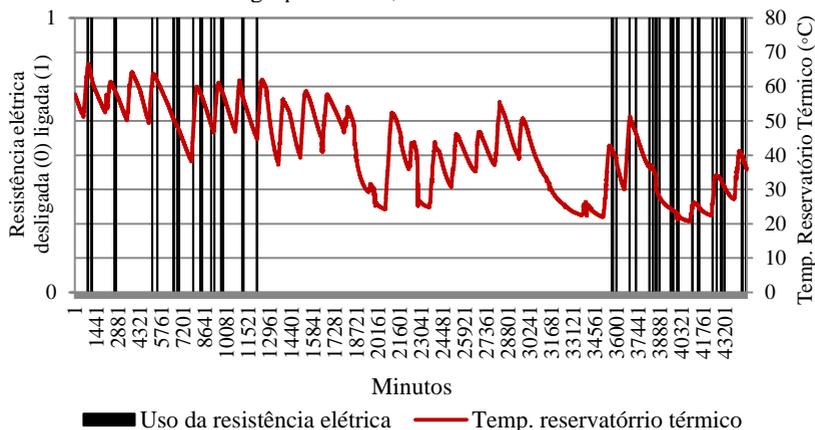


Figura 79 – Uso do sistema auxiliar de aquecimento pela família contida no agrupamento 2, em maio de 2013.



Através da Figura 79, em unidade do agrupamento 5, nota-se o uso eficiente da resistência elétrica, utilizada apenas quando a temperatura do reservatório térmico encontra-se abaixo de 43°C. A família consegue evitar o uso desnecessário de energia elétrica gerenciando corretamente o uso do chuveiro elétrico. Para isso o disjuntor do chuveiro elétrico frequentemente é mantido desligado. As ações de uso do sistema de aquecimento solar neste agrupamento demonstram que a família domina a tecnologia, sabe misturar a água do banho e utiliza a resistência elétrica apenas no momento em que ocorre a falta de água da rede ou quando a temperatura no reservatório está abaixo das condições de conforto. A existência de um líder que controla quando o chuveiro elétrico pode ser usado contribui para o uso eficiente do sistema de aquecimento solar de água.

No caso da família contida no agrupamento 2, o uso da resistência elétrica ocorreu mesmo quando a temperatura do reservatório térmico se encontrava acima de 43°C (Figura 79). Alguns membros têm domínio para mistura da água do banho, outros não. O fato de ser mais fácil usar a água aquecida pelo chuveiro elétrico pressupõe o seu uso constante. A dificuldade na estabilização da água na temperatura de conforto desencadeia o acionamento da resistência elétrica, mesmo tendo água quente no reservatório térmico. Assim, o fator que influencia nesta decisão é a dificuldade para mistura da água do banho. Um ponto

importante de ser destacado é que não existe um líder na família que gerencia o uso do chuveiro elétrico. As crianças e adultos acionam a resistência elétrica do chuveiro em qualquer evento de banho.

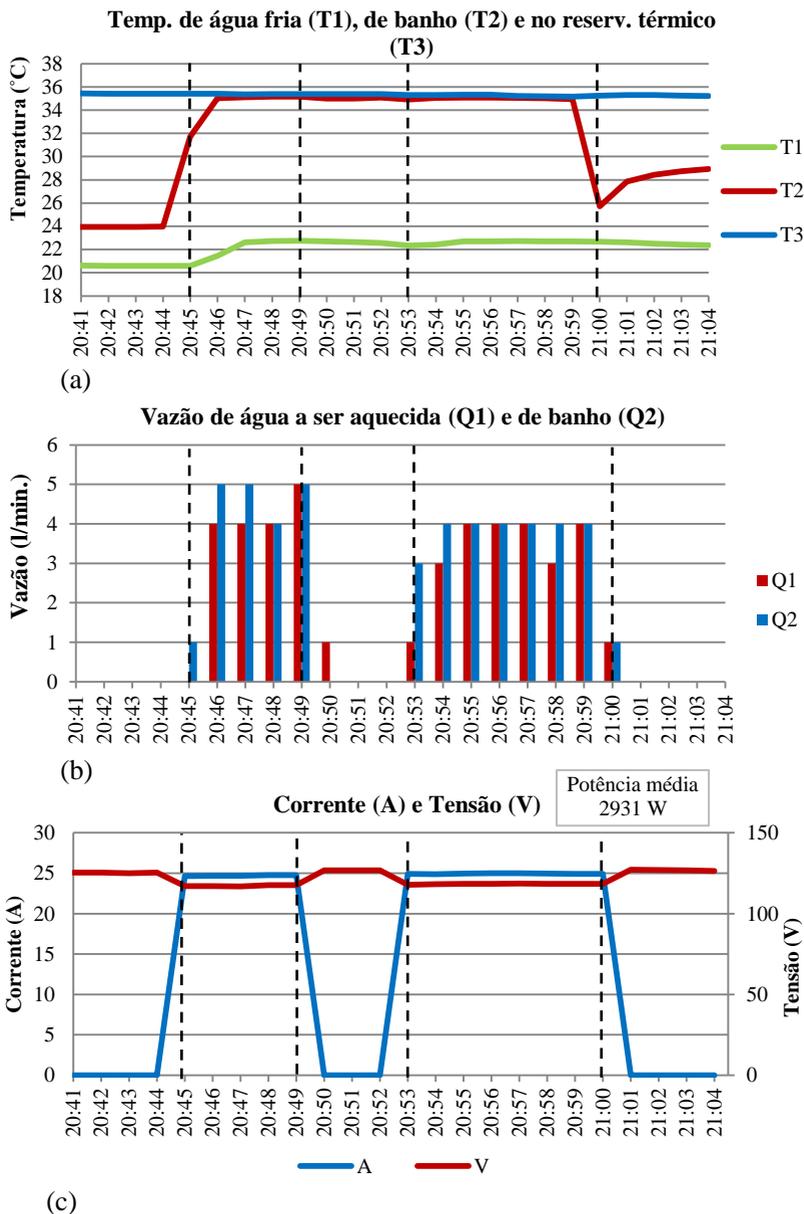
Ainda em relação às Figuras 78 e 79, os registros de temperatura da água no interior do reservatório térmico permitem identificar períodos do mês com temperatura abaixo de 40°C. Esta condição evidencia a necessidade de uma investigação no que se refere aos riscos relacionados à contaminação da água pela bactéria *Legionella*. A *ASHRAE Guideline 12* (2000) estabelece informações para minimizar a contaminação da bactéria nas instalações hidráulicas prediais. De acordo com o documento, dentre as condições que propiciam a contaminação pela bactéria tem-se a temperatura da água entre 25°C e 42°C, atingida com frequência no reservatório térmico nas unidades habitacionais analisadas neste estudo. No Brasil, uma nova norma técnica para sistemas hidráulicos prediais de água fria e quente substituirá as normas NBR 7198 (ABNT, 1993) e a NBR 5626 (ABNT, 1998). Segundo BARBARA (2015), a nova norma terá um anexo sobre patogenias, com a formação de um grupo de trabalho para uma norma específica sobre a bactéria *Legionella*.

### **6.3.2.1 Aproveitamento da água pré-aquecida**

Uma vez que a resistência elétrica é acionada corretamente devido à falta de água quente no reservatório térmico, a água pré-aquecida pode ser aproveitada. A Figura 80 demonstra dois eventos de banho com aproveitamento da água quente do reservatório térmico e complementação com o chuveiro elétrico para atingir a temperatura de banho desejável. Os eventos de banho estão delimitados pelas linhas tracejadas entre os horários de 20:45 as 20:49 (banho de cinco minutos) e entre 20:53 e 21:00 (banho de 8 minutos).

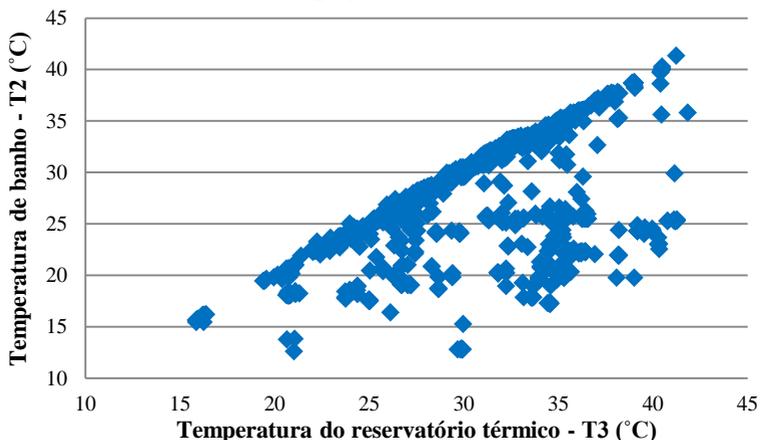
No gráfico (a) da Figura 80 as temperaturas em T3 e T2 se igualam. No gráfico (b) observa-se o uso da água quente do reservatório devido à vazão de água em Q1. No gráfico (c) tem-se o registro de corrente elétrica no momento dos dois eventos de banho. Neste caso, o usuário optou por uma potência reduzida, chegando ao valor médio de 2931 W.

Figura 80 - Aproveitamento da água pré-aquecida do reservatório térmico: (a) medição de temperatura, (b) medição de vazão de água, (c) medição de potência. Registros de banhos em 27/05/2013, agrupamento 5.



A correlação entre as temperaturas do reservatório térmico (T3) e de banho (T2) permite observar o aproveitamento da água pré-aquecida pelos usuários. Neste caso, foram analisados somente os eventos de banho com o uso eficiente da resistência elétrica, isto é, quando a temperatura do reservatório encontra-se igual ou menor do que 43°C. Na análise de correlação (Figuras 81, 82 e 83) observam-se alguns pontos onde T3 é maior do que T2. Além de indicar que a água quente do reservatório térmico não foi aproveitada durante o evento de banho, alguns pontos referem-se ao primeiro minuto do banho, quando a água no ponto de consumo ainda encontra-se fria. O agrupamento 5 se destaca por aproveitar a água pré-aquecida, fato observado quase sempre por todos os usuários da família. A Figura 81 ilustra a correlação entre T3 e T2 nos eventos de uso eficiente da resistência elétrica.

Figura 81 - Correlação entre temperaturas do reservatório térmico (T3) e de banho (T2), em ações de banho com o uso da resistência elétrica, na unidade do agrupamento 5.



Nas unidades dos agrupamentos 2, 3 e 4 alguns usuários apresentaram domínio para o aproveitamento da água quente do reservatório. Porém, várias ações de banho sem aproveitamento também foram identificadas nestes agrupamentos. A Figura 82 ilustra a correlação entre T3 e T2 na unidade do agrupamento 2.

Já os usuários do agrupamento 1 não demonstraram entendimento para aproveitamento da água pré-aquecida pelo reservatório térmico, fato observado na análise de correlação da Figura 83. Isto ocorreu devido ao entendimento incorreto do funcionamento do sistema de

aquecimento solar. A família identifica dois sistemas independentes, sendo um o sistema de aquecimento solar e outro o chuveiro elétrico. No inverno, usa-se somente o chuveiro elétrico e no verão somente o sistema de aquecimento solar.

Figura 82 - Correlação entre temperaturas do reservatório térmico (T3) e de banho (T2), em ações de banho com o uso da resistência elétrica, na unidade do agrupamento 2.

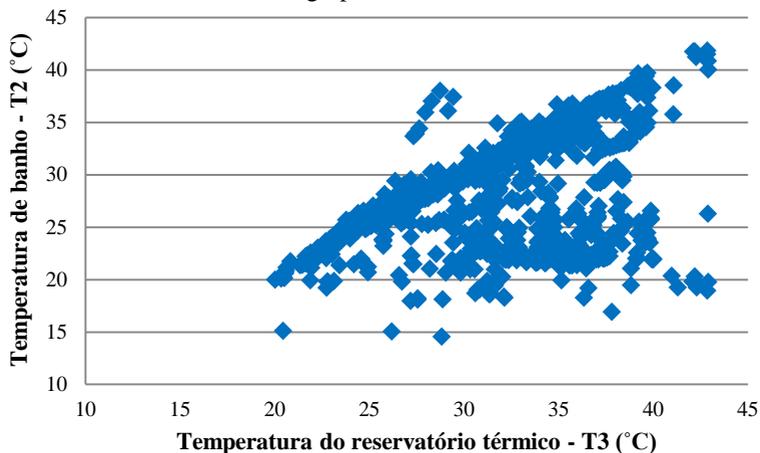
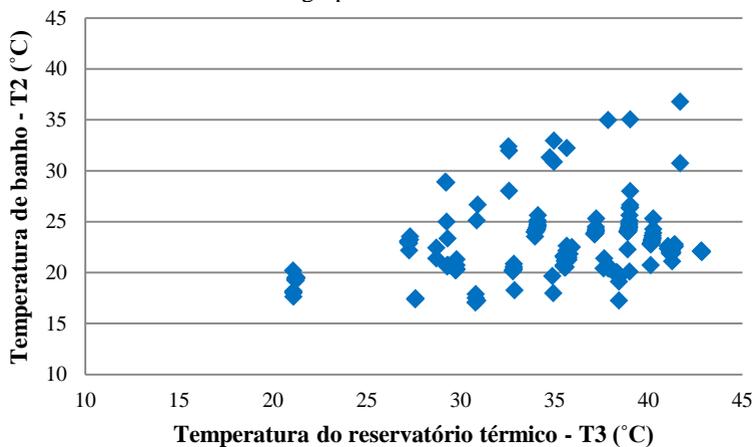


Figura 83 - Correlação entre temperaturas do reservatório térmico (T3) e de banho (T2), em ações de banho com o uso da resistência elétrica, na unidade do agrupamento 1.



Entre os agrupamentos analisados foi observada a prática de redução da potência do chuveiro elétrico, já que a água pré-aquecida encontra-se mais elevada do que a água fria da rede. A família contida no agrupamento 4 se destaca por manter a potência do chuveiro elétrico no nível mínimo de consumo. Os membros da família contida no agrupamento 5 também reduzem a potência do chuveiro quando a temperatura do reservatório está acima de cerca de 30°C. A ação foi pouco observada nas famílias contidas nos agrupamentos 2 e 3. Na família do agrupamento 1, a ação não foi identificada. Salienta-se que um sistema que permite identificar a temperatura da água no reservatório térmico facilitaria a ação de redução da potência do chuveiro nos casos onde a família aproveita a água do reservatório térmico.

### **6.3.3 Consumo de água quente do reservatório térmico**

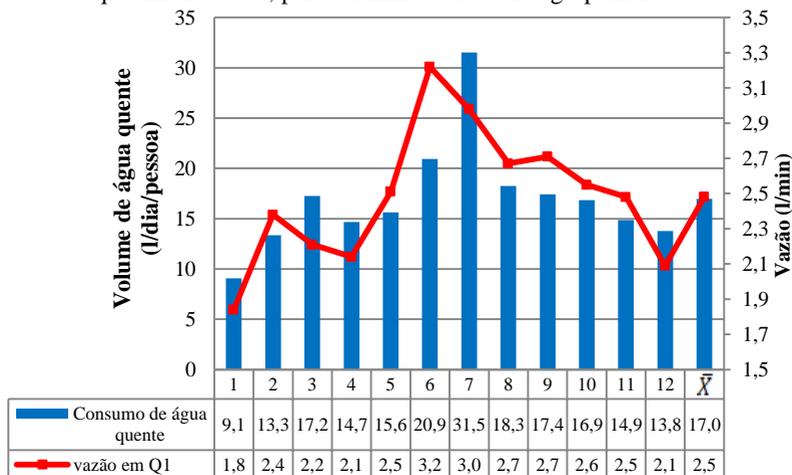
Os parâmetros de consumo de água quente obtidos neste estudo tiveram influência significativa do domínio do usuário para mistura da água quente bem como da sua eficiência no uso da resistência elétrica. O fato das famílias contidas nos agrupamentos 2 e 3 não utilizarem efetivamente o sistema de aquecimento solar resultou no baixo consumo de água quente proveniente do sistema. Da mesma forma, a ausência de uso do sistema de aquecimento solar no período de inverno pela família do agrupamento 1, não permitiu extrair parâmetros de consumo de água quente para o ano todo. Já o uso correto da tecnologia, observado ao longo do ano na família do agrupamento 5, permitiu obter parâmetros de consumo que contribuem com os estudos de dimensionamento do sistema. A Figura 84 ilustra os resultados de consumo de água quente proveniente do reservatório térmico e as vazões de água a ser aquecida, obtidos na unidade do agrupamento 5, ao longo de um ano.

O consumo médio mensal de água quente proveniente do reservatório térmico foi de 17 litros/dia/pessoa e variou de 9,1 litros/dia/pessoa (verão) a 31,5 litros/dia/pessoa (inverno). Salienta-se que este resultado é atribuído a um perfil familiar de economizadores de energia e água.

Quanto à vazão de água a ser aquecida, obteve-se vazão máxima de 3,2 litros/min em junho, mínima de 1,8 litros/min em janeiro, e vazão média de 2,5 litros/min. De acordo com a curva de erro obtida para o hidrômetro Q1 na unidade do agrupamento 5 (Figura 65), para as vazões obtidas neste intervalo, o erro de indicação do volume escoado não ultrapassou o valor máximo admissível pelo Inmetro. À

vazão média associa-se o erro de indicação de 1,8% e incerteza de resolução de  $\pm 1$  litro.

Figura 84 – Volume e vazão mensal de água quente a ser aquecida pelo sistema de aquecimento solar, para a família contida no agrupamento 5.



Os dados de consumo apresentados contribuem para os estudos de projeto e dimensionamento do sistema de aquecimento solar e podem ser aprofundados em pesquisas relacionadas ao tema.

Parâmetros de consumo de água quente na unidade do agrupamento 4 não puderam ser obtidos devido aos problemas ocorridos com o hidrômetro Q1, identificados na curva de erro da Figura 65. Entretanto, com a medição do tempo de banho da família, pode-se estimar o consumo médio mensal de água quente com base na vazão média de água quente obtida no agrupamento 5.

Ressalta-se que, na determinação dos parâmetros de consumo de água quente, não foi considerado o consumo para funcionamento da válvula anticongelamento, descrito no subitem a seguir.

### 6.3.3.1 Consumo de água para funcionamento da válvula anticongelamento

Com base nos registros de medição ao longo de um ano, obteve-se o volume de água do reservatório térmico utilizado para o funcionamento da válvula anticongelamento, conforme a Tabela 10.

Tabela 10 – Volume de água do reservatório térmico consumido para o funcionamento da válvula anticongelamento.

<b>Volume de água do reservatório térmico (litros)</b>					
<b>Meses</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>A5</b>
Mai	-	13	-	<sup>A</sup>	42
Jun	-	-	-	<sup>A</sup>	-
Jul	150	1595	1279	<sup>A</sup>	1511
Ago	54	1137	597	<sup>A</sup>	1088
Set	-	123	75	<sup>A</sup>	137
<b>Total</b>	<b>204</b>	<b>2868</b>	<b>1951</b>	<sup>A</sup>	<b>2778</b>

<sup>A</sup> – hidrômetro Q1 com problemas.

O funcionamento da válvula anticongelamento ocorreu entre os meses de maio e setembro. Na Tabela 10, observam-se variações no consumo de água entre as unidades habitacionais estudadas, chegando ao valor máximo de 2868 litros no ano, na unidade do agrupamento 2. Eventos de abertura da válvula anticongelamento ocorreram com maior frequência nas unidades dos agrupamentos 2 e 5. O fato de que estas unidades estão próximas ao fundo de vale existente na região, favorece uma temperatura do entorno mais baixa do que nas demais localizações. O baixo consumo de água para funcionamento da válvula da unidade do agrupamento 1 pode ser atribuído à falta de uso do sistema de aquecimento solar nos meses de inverno. Com isso, tem-se a alimentação do coletor solar com uma mistura de água de temperatura mais elevada, minimizando a frequência de abertura da válvula.

### 6.3.4 Linha de base

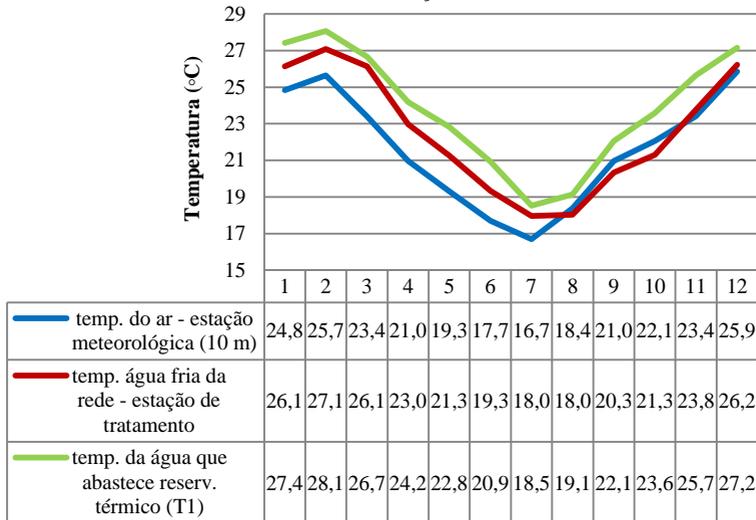
#### 6.3.4.1 Temperaturas mensais de banho e de água fria

Para a construção da linha de base, adotou-se os dados de temperatura mensal de banho obtidos em T2, pela família representante do agrupamento 5. Dentre as famílias que compõem a amostra do estudo, a que representa o agrupamento 5 demonstrou bom domínio para mistura da água quente e gerenciamento do sistema.

A temperatura mensal de água fria obtida nas medições em T1 foi adotada na linha de base. Os dados foram comparados com a

temperatura mensal do ar e, com a temperatura mensal de água fria medida na estação de tratamento de água que atende a região de análise. A Figura 85 ilustra os resultados obtidos.

Figura 85 - Temperaturas médias mensais do ar e da água medidos no período de abril de 2013 a março de 2014.

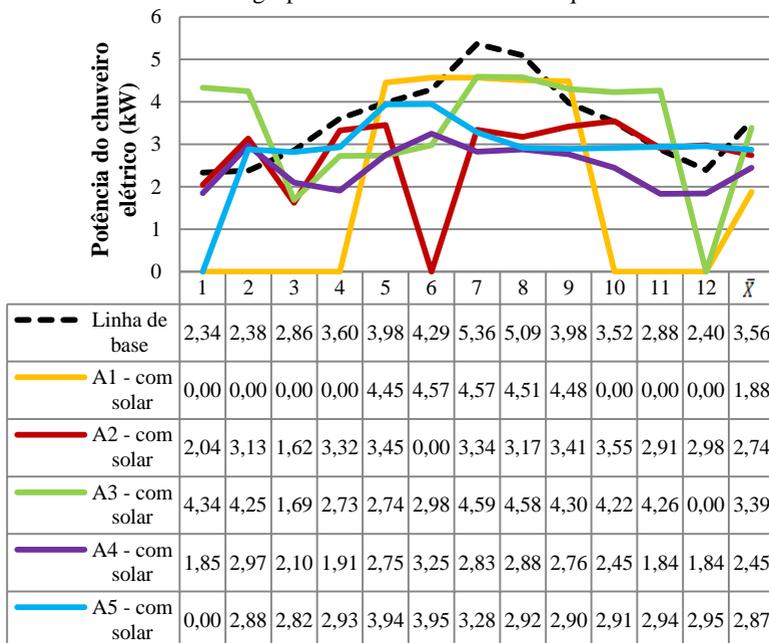


Nota-se pela Figura 85 uma pequena variação entre as temperaturas de água fria da rede, medidas na estação de tratamento e na tubulação que abastece o reservatório térmico da unidade habitacional (T1), sendo esta última mais alta em todos os meses. Percebe-se também que as temperaturas medidas em T1 estão superiores às temperaturas médias mensais do ar, ao longo de todo o ano. Tal resultado confronta com os procedimentos definidos na regulamentação brasileira para obtenção do selo Procel Edificações (BRASIL, 2012). Para a obtenção da fração solar de sistemas de aquecimento solar, o regulamento sugere que a temperatura da água fria da rede, utilizada no cálculo da demanda de energia útil, possa ser obtida com base na temperatura ambiente média mensal da região subtraída de 2°C. Ressalta-se a importância de se obter dados medidos de temperatura da água fria para o cálculo da demanda de energia.

### 6.3.4.2 Potência média mensal do chuveiro elétrico

A potência mensal do chuveiro elétrico obtida para a linha de base pode ser observada na Figura 86. Os dados da potência mensal do chuveiro elétrico obtidos no cenário com sistema de aquecimento solar, para cada agrupamento analisado, foram comparados com a potência adotada na linha de base. Observa-se que a potência média do chuveiro elétrico no cenário com sistema de aquecimento solar deve ser menor do que a potência média de uso exclusivo do chuveiro elétrico. Isso porque com o sistema de aquecimento solar, utiliza-se a água pré-aquecida em conjunto com uma potência mais baixa do chuveiro elétrico.

Figura 86 - Potência mensal do chuveiro elétrico na linha de base e potências mensais medidas nos agrupamentos com sistema de aquecimento solar.

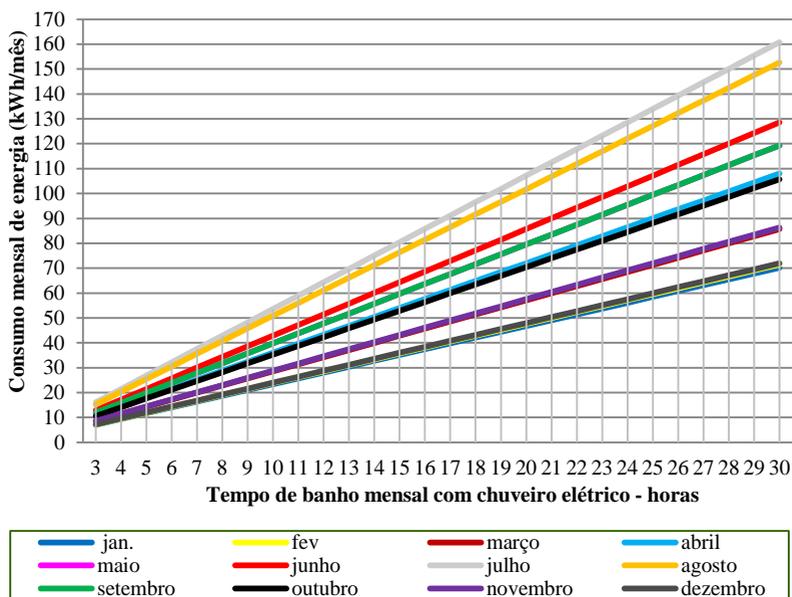


Nota-se pela Figura 86 que as famílias representantes dos agrupamentos 1 e 3 adotaram potências superiores às estabelecidas na linha de base para alguns meses do ano. As análises anteriores indicaram o baixo aproveitamento da água pré-aquecida por estas famílias, o que reduz a possibilidade de escolha de potências mais baixas para o banho. Outro aspecto importante de ser destacado é que

embora se tenha adotado uma linha de base padrão para todos os agrupamentos, existe uma variabilidade na temperatura ideal para o banho. A família contida no agrupamento 4 possui preferência por temperaturas de banho mais baixas do que nos demais agrupamentos, o que refletiu também em potências mensais mais baixas.

Considerando a variação da potência mensal do chuveiro elétrico adotada na linha de base obtêm-se resultados de consumo de energia que variam significativamente ao longo do ano. A Figura 87 apresenta a variação do consumo de energia elétrica ao longo do ano, demonstrando a importância de uma análise anual. Os dados foram construídos com base nas potências do chuveiro elétrico na linha de base, descritas na Figura 86.

Figura 87 – Variação do consumo mensal de energia com o uso exclusivo do chuveiro elétrico.



Considerando um banho de 8 minutos de duração, quatro vezes ao dia, obtêm-se tempo de banho de 16 horas por mês. O consumo de energia na linha de base terá uma variação de 37,41 kWh/mês (janeiro) a 85,76 kWh/mês (julho). A diferença de 47 kWh/mês é significativa em uma análise de economia de energia. Medições curtas, realizadas em um

pequeno período do ano, podem subestimar (no verão) ou superestimar (no inverno) os resultados de economia.

Pode-se comparar os consumos mensais de energia obtidos pelo gráfico da Figura 87 com as estimativas baseadas no procedimento para avaliação *ex ante* da ANEEL (2013). A fração solar, segundo edital de chamada pública da distribuidora de energia elétrica do estado do Paraná (COPEL, 2014)<sup>19</sup>, deve ser de 0,60, ou seja, 60% da energia necessária para aquecer a água deve ser fornecida pelo sistema de aquecimento solar de água. Para o tempo de banho de 16 horas por mês, o consumo de energia anual neste estudo seria de 682,67 kWh/ano, na linha de base. Considerando a fração solar de 0,60, a economia de energia seria de 409,6 kWh/ano. Aplicando o método de cálculo (equação 1) da Aneel (2013), segundo os mesmos parâmetros de fração solar de 0,6 e 4 banhos diários de 8 minutos cada, em unidade habitacional com um único chuveiro elétrico com potência de 4500 W, a energia consumida no ano seria de 876 kWh na linha de base, e a energia economizada seria de 525,6 kWh por unidade. Observa-se que os valores gerados pelo método de cálculo da Aneel são relativamente maiores do que os obtidos neste estudo. Isso porque foi assumido que as pessoas mantêm a potência constante de 4500 W ao longo do ano, mesmo nos meses mais quentes. Assim, com consumos mais elevados na linha de base, têm-se maiores valores de economia.

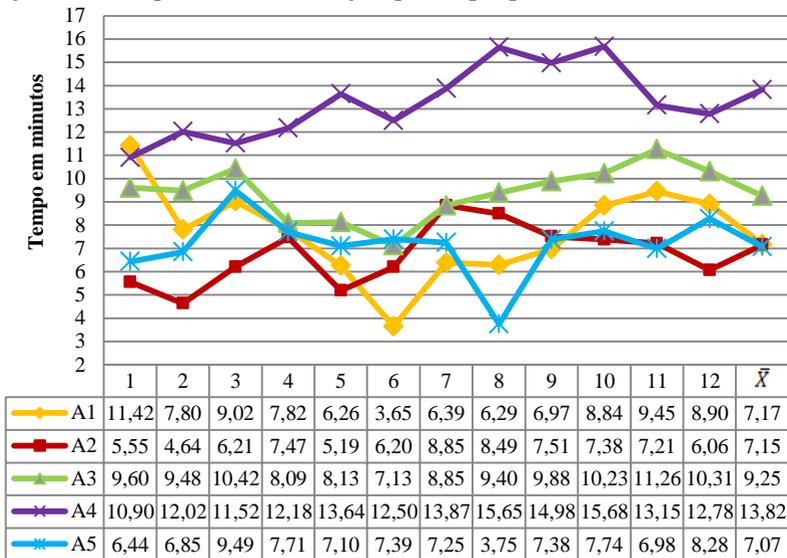
### **6.3.5 Análise do consumo de energia nos cenários sem e com sistema de aquecimento solar**

O consumo de energia elétrica para aquecer a água do banho nos cenários sem sistema de aquecimento solar e com sistema solar foi obtido com base nos tempos de banho com água quente. A Figura 88 demonstra que o tempo médio de banho com água quente variou significativamente entre as famílias monitoradas.

---

<sup>19</sup> No edital, com a finalidade de selecionar projetos de eficiência energética, são indicados os valores relativos à fração solar e ao fator de coincidência na ponta, para o cálculo das metas ou avaliação *ex ante*.

Figura 88 - Tempo de banho com água quente, por pessoa, em média mensal.



Percebe-se que a família representante do agrupamento 4 consome maior quantidade de água dentre as demais. Banhos com duração de cerca de 30 minutos foram identificados com frequência por alguns membros da família.

Nos cenários sem e com o sistema de aquecimento solar obteve-se resultados de consumo de energia para aquecer a água do banho, para cada agrupamento analisado, conforme as Figuras 89, 90, 91, 92 e 93.

Figura 89 - Consumo mensal de energia elétrica, por pessoa, para aquecer a água do banho – agrupamento 1 – Família com 2 pessoas.

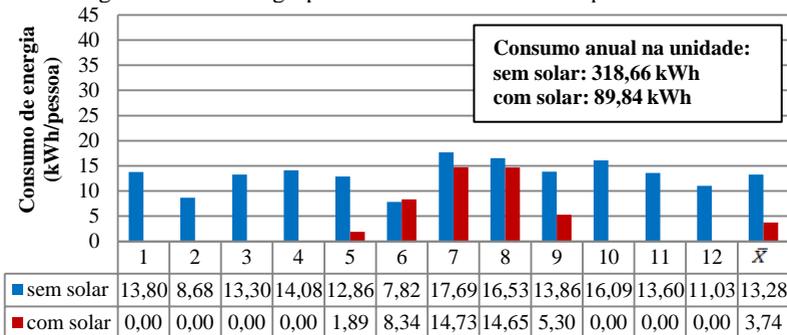


Figura 90 - Consumo mensal de energia elétrica, por pessoa, para aquecer a água do banho – agrupamento 2 – Família com 5 pessoas.

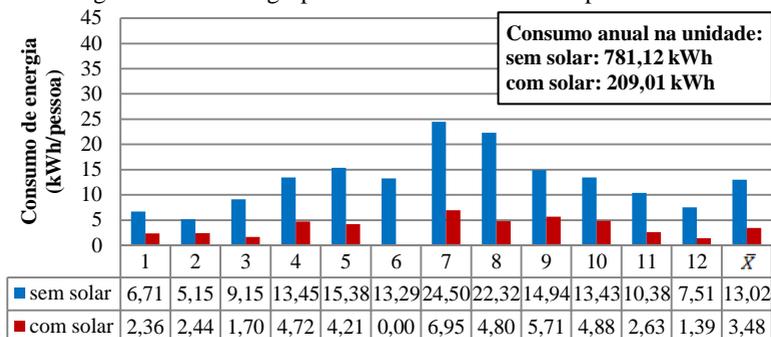


Figura 91 - Consumo mensal de energia elétrica, por pessoa, para aquecer a água do banho – agrupamento 3 – Família com 4 pessoas e 1 bebê.

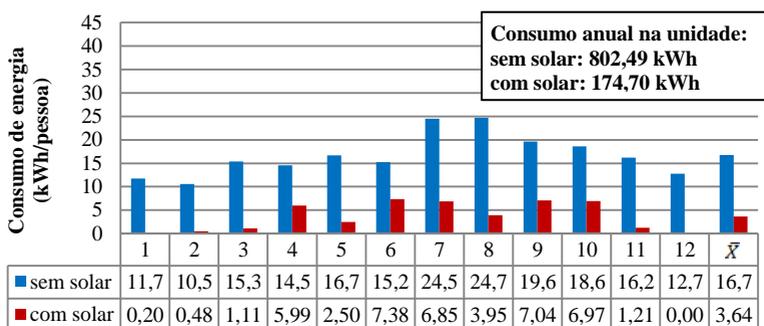


Figura 92 - Consumo mensal de energia elétrica, por pessoa, para aquecer a água do banho – agrupamento 4 – Família com 4 pessoas.

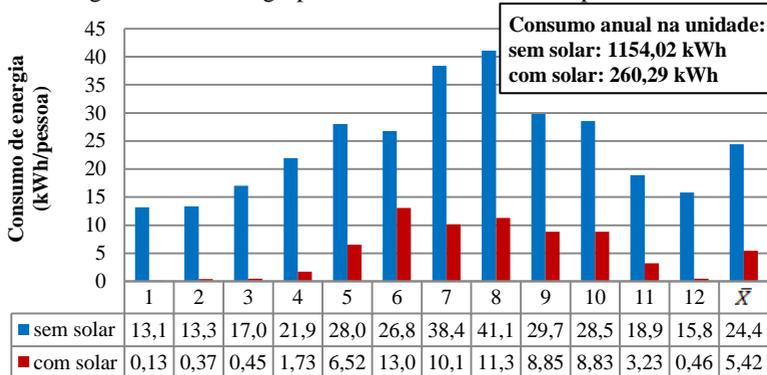
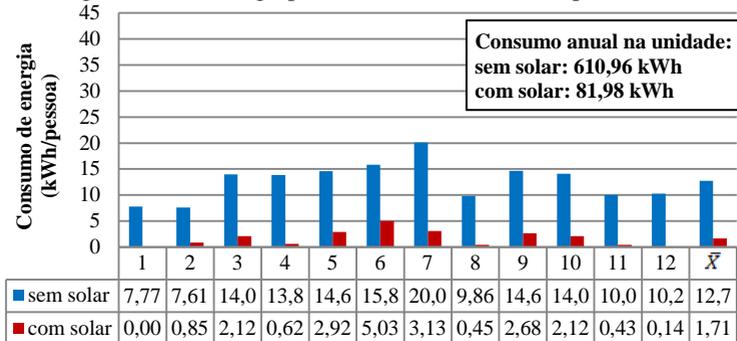


Figura 93 - Consumo mensal de energia elétrica, por pessoa, para aquecer a água do banho – agrupamento 5 – Família com 4 pessoas.



A família contida no agrupamento 5 se destaca por apresentar os menores valores de consumo de energia para aquecer a água do banho, tanto no cenário sem sistema de aquecimento solar quanto no cenário com solar. De acordo com a Figura 94, em média mensal, a família consome 12,73 kWh/pessoa com o uso do chuveiro elétrico e apenas 1,71 kWh/pessoa com o uso do sistema de aquecimento solar.

A grande variabilidade no consumo de energia para aquecer a água do banho, pode ser observada por meio dos diagramas de caixa. A Figura 94 ilustra a dispersão dos resultados mensais de consumo de energia, entre os cinco agrupamentos, em cenário sem sistema de aquecimento solar.

Considerando a potência do chuveiro elétrico padrão para todas as famílias, as variações observadas ao longo do ano são atribuídas ao tempo de banho com água quente, que variaram significativamente entre as famílias monitoradas.

Já no cenário com sistema de aquecimento solar (Figura 95), a variação no consumo de energia para aquecer a água do banho é influenciada pela forma como o usuário utiliza o sistema. O uso correto da resistência elétrica, o aproveitamento da água pré-aquecida, a redução da potência do chuveiro elétrico, juntamente com um menor tempo de banho configuram resultados de consumo de energia mais baixos.

Figura 94 – Dispersão dos resultados mensais de consumo de energia elétrica, entre os cinco agrupamentos analisados, em cenário sem sistema de aquecimento solar.

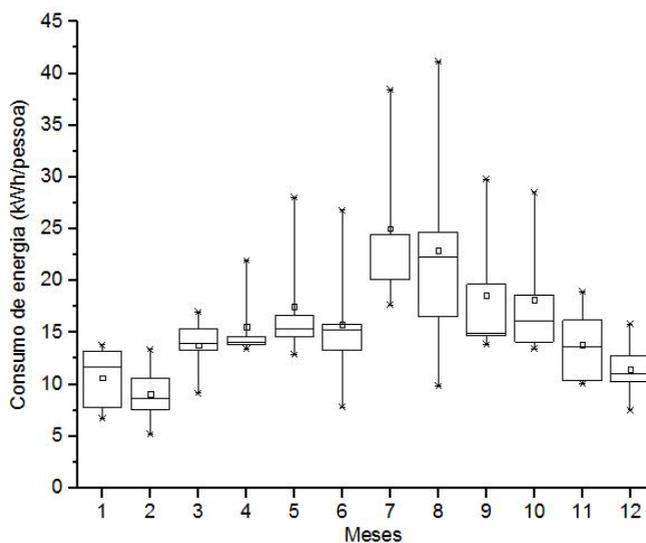
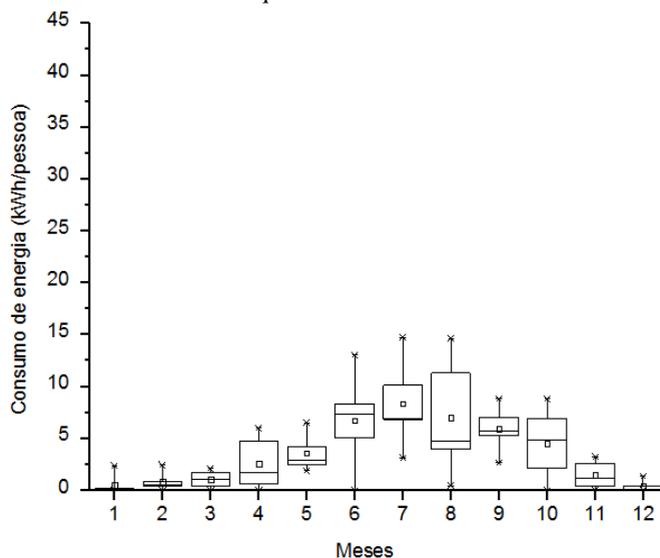
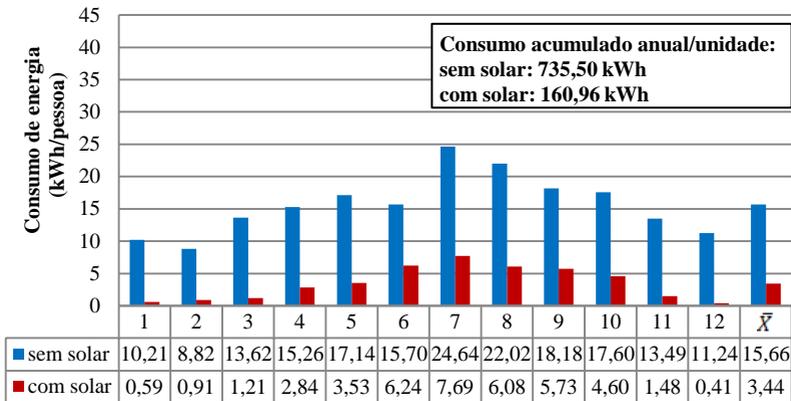


Figura 95 - Dispersão dos resultados mensais de consumo de energia elétrica, entre os cinco agrupamentos analisados, em cenário com sistema de aquecimento solar.



O consumo de energia elétrica por pessoa, em média ponderada (equação 13, item 6.2.2.1), para aquecer a água do banho em um cenário sem sistema de aquecimento solar e com o sistema, é dado pela Figura 96.

Figura 96 - Consumo médio de energia elétrica, por pessoa, para aquecer a água do banho em unidades habitacionais do Residencial Vista Bela.

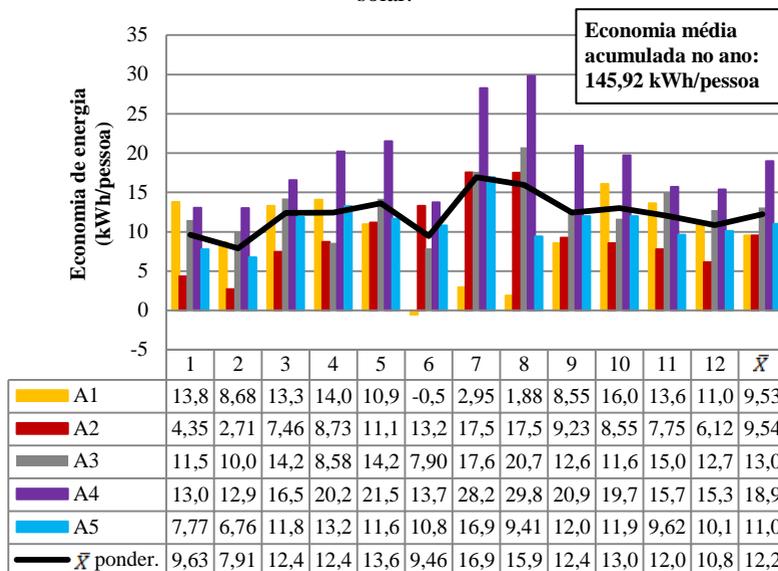


Analisando o consumo de energia médio por pessoa, em julho obteve-se consumo máximo de 24,64 kWh/pessoa para aquecer a água do banho sem o sistema de aquecimento solar. Para o mesmo mês obteve-se o consumo máximo de 7,7 kWh/pessoa para aquecer a água do banho com o sistema de aquecimento solar. Em fevereiro obteve-se o consumo mínimo de 8,8 kWh/pessoa para aquecer a água do banho sem o sistema de aquecimento solar e em dezembro o consumo mínimo para o cenário com sistema de aquecimento solar foi de 0,4 kWh/pessoa. Em média mensal obteve-se o consumo de 15,7 kWh/mês/pessoa para aquecer a água do banho sem o sistema de aquecimento solar e apenas 3,4 kWh/mês/pessoa para aquecer a água do banho com o sistema de aquecimento solar. O consumo acumulado anual, em média ponderada, foi de 735,50 kWh para o cenário sem solar e de 160,96 kWh para o cenário com solar.

### 6.3.6 Análise da economia de energia com uso do sistema de aquecimento solar

A Figura 97 apresenta os resultados de economia mensal, por pessoa, obtidos com o uso do sistema de aquecimento solar.

Figura 97 - Economia de energia, por pessoa, com o sistema de aquecimento solar.



A economia máxima de energia elétrica foi obtida pela família representante do agrupamento 4, para o mês de agosto, chegando a 29,8 kWh/pessoa. O resultado é atribuído a um maior tempo de banho com água quente, o que resulta em alto consumo de energia para aquecer a água no cenário sem sistema de aquecimento solar.

Na unidade do agrupamento 1, o aumento do consumo de energia no mês de junho é atribuída ao fato de que a potência do chuveiro elétrico é menor na linha de base do que no cenário com solar. Mesmo com o nivelamento das potências, a economia de energia seria nula devido à ausência do uso do sistema de aquecimento solar no mês de junho assim como em todo período de inverno.

Neste estudo, em média ponderada, obteve-se economia máxima de energia de 16,95 kWh/pessoa para o mês de julho e mínima de 7,91 kWh/pessoa para o mês de fevereiro. A economia média anual obtida foi de 12,16 kWh/pessoa o que resulta em uma economia acumulada de 145,92 kWh/pessoa. Para uma família de 4 pessoas, a economia acumulada no ano seria de 583,68 kWh, em média. Porém, ressalta-se que o comportamento dos usuários de uma família afeta os resultados de economia. Isso pode ser demonstrado comparando, por exemplo, resultados obtidos por duas famílias de mesma composição, sendo elas

as famílias representantes dos agrupamentos 4 e 5. Os valores de economia de energia acumulada oscilaram de 911,32 kWh/ano a 528,98 kWh/ano, respectivamente. Neste caso, constatou-se que os melhores resultados de economia não foram obtidos pelos usuários mais eficientes e sim pelos maiores consumidores de energia, que demandam uma maior quantidade de água para o banho.

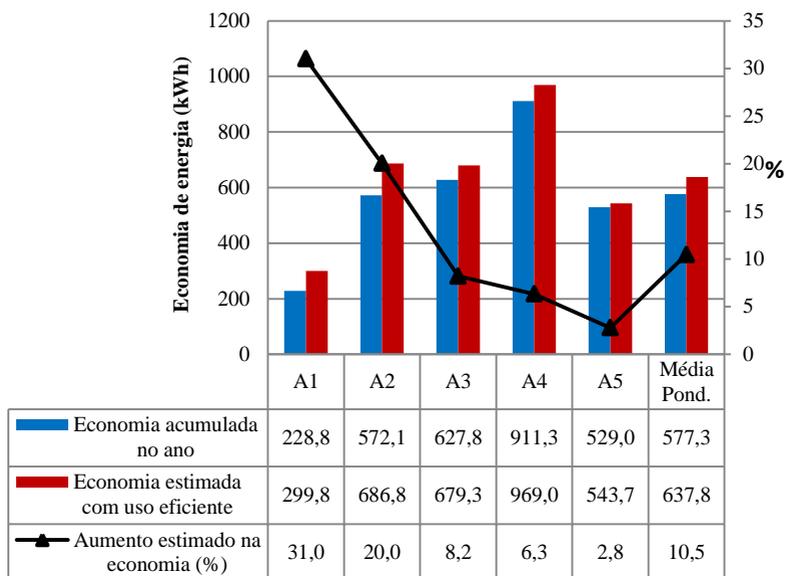
Os valores mais baixos de economia de energia foram obtidos pelas famílias contidas nos agrupamentos 1 e 2. A família contida no agrupamento 1 teve sua economia média prejudicada pelo baixo resultado obtido nos meses frios, devido à má compreensão do funcionamento do sistema. Já o baixo resultado de economia para a família contida no agrupamento 2 é reflexo da dificuldade para misturar a água do banho o que fez com que muitas vezes fosse acionada a resistência elétrica do chuveiro. Para a família contida no agrupamento 1, composta por dois usuários, a economia de energia acumulada no ano foi de 228,8 kWh. Para a família contida no agrupamento 2 composta por 5 pessoas, a economia acumulada no ano foi de 572,11 kWh. A família contida no agrupamento 3 obteve bom resultado de economia de energia per capita, assim como a família do agrupamento 5, chegando a uma economia de energia acumulada no ano de 627,79 kWh.

### **6.3.6.1 Estimativa de economia com o uso eficiente do sistema**

Fez-se uma estimativa de quanto seria a economia de energia caso o sistema de aquecimento solar tivesse sido usado de maneira eficiente. Para isso, foi considerado o tempo de banho em que o usuário acionou a resistência elétrica mesmo tendo água quente a mais de 43°C no reservatório térmico. Desta forma pode-se quantificar como os fatores de influência na economia de energia afetam os resultados finais. A Figura 98 demonstra os resultados desta análise.

Analisando a Figura 98, a família representante do agrupamento 1 teria um aumento estimado de 31%, caso o sistema fosse utilizado de maneira correta. Nesta família, por meio das medições, afirma-se que o resultado foi motivado prioritariamente devido à falta de entendimento de que mesmo no inverno existe a disponibilidade de água quente no reservatório térmico. Neste caso, ações educativas e esclarecimentos sobre o funcionamento da tecnologia contribuiriam para o aumento da economia de energia.

Figura 98 - Economia de energia elétrica real e estimada com o uso eficiente do sistema de aquecimento solar.



A dificuldade para mistura da água do banho e consequente uso indevido da resistência elétrica proporcionou uma redução estimada de 20% na economia de energia na unidade habitacional representante do agrupamento 2. O gerenciamento correto dos registros de água quente e fria assim como melhores condições da instalação hidráulica poderiam contribuir para o aumento da economia de energia.

Na unidade do agrupamento 3, a dificuldade para mistura da água do banho proporcionou uma redução estimada de 8,21% na economia de energia elétrica. O valor não foi mais alto porque, na maioria das vezes, ocorria o gerenciamento da resistência elétrica do chuveiro, com o desligamento do disjuntor por um membro da família. Ressalta-se que embora a dificuldade para mistura da água do banho não tenha impactado na economia de energia, as condições de conforto de banho foram afetadas o que acarreta na insatisfação com o sistema de aquecimento solar.

A família representante do agrupamento 4 poderia ter um acréscimo estimado de 6,5% na economia de energia acumulada no ano, caso gerenciasse corretamente o uso da resistência elétrica. Por fim, a família representante do agrupamento 5 poderia ter um aumento de

2,8% na economia de energia acumulada. Os resultados de economia foram afetados prioritariamente devido à falta de água da rede de abastecimento que impediu o uso da água do reservatório térmico.

Com todos os problemas de uso do sistema pelas famílias de baixa renda, chegou-se ao resultado médio de economia de energia acumulada de 577,3 kWh por unidade habitacional. Com base no valor obtido para cada agrupamento, pode-se estimar, de maneira simplificada, o tempo de retorno do investimento com o sistema de aquecimento solar. Considera-se o custo unitário da energia elétrica no estado do Paraná de R\$ 0,84 reais/kWh<sup>20</sup>. Nestas condições, a economia de energia obtida por meio do uso do sistema de aquecimento solar chega a R\$ 192,19 reais/ano para o agrupamento 1, R\$ 480,56 reais/ano para o agrupamento 2, R\$ 527,35 reais/ano para o agrupamento 3, R\$ 765,49 reais/ano para o agrupamento 4, e R\$ 444,36 reais/ano para o agrupamento 5. Assim, o retorno do investimento de R\$2000,00<sup>21</sup> terá uma variação de cerca de dois anos e meio a 10 anos, dependendo das características e comportamento das famílias.

### **6.3.7 Participação do sistema de aquecimento de água no consumo total de energia**

A participação do sistema de aquecimento de água no consumo total de energia pode ser observada na Figura 99.

No cenário sem o sistema de aquecimento solar, a contribuição do chuveiro elétrico no consumo de energia total variou de 18,67% a 42,97%. As menores contribuições foram obtidas para as unidades dos agrupamentos 1 e 2. Na unidade do agrupamento 1, a pequena contribuição se deve ao número reduzido de pessoas na família o que reduz a demanda de energia para aquecer a água do banho. Na unidade do agrupamento 2, a pequena contribuição se deve ao grande consumo de energia para os demais usos finais. A família possui vários equipamentos eletrodomésticos além de uma geladeira de alto consumo de energia. Com isso, o sistema de aquecimento de água assume uma menor participação dentre os demais usos na unidade. Nestas condições, a percepção de economia após a instalação do sistema de aquecimento

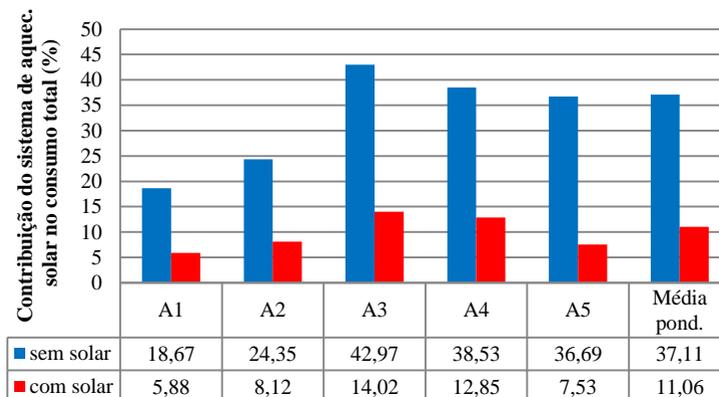
---

20 Valor obtido com base na resolução da ANEEL nº1897 de 16 de junho de 2015 para a classe B1 –Residencial, já acrescido de impostos e da bandeira tarifária vermelha.

21 Valor do sistema de aquecimento solar repassado pelo governo federal ao programa Minha Casa, Minha Vida.

solar se torna mais difícil. Nas unidades dos agrupamentos 3, 4 e 5, a participação do sistema de aquecimento de água é expressiva, chegando a 42,97% na unidade do agrupamento 3. Com isso, a introdução do sistema de aquecimento solar se torna mais perceptível no que se refere à economia de energia proporcionada à família.

Figura 99 - Participação do sistema de aquecimento de água no consumo total de energia elétrica, em média mensal.

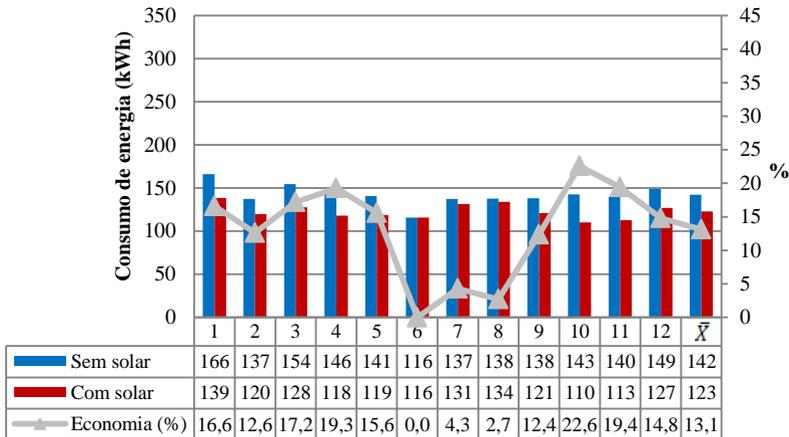


Ainda de acordo com a Figura 99, no cenário com sistema de aquecimento solar, a participação do sistema de aquecimento de água no consumo total de energia reduz significativamente nas cinco unidades familiares monitoradas. A maior redução ocorreu na unidade do agrupamento 5, devido principalmente, ao uso eficiente do sistema de aquecimento solar pela família.

Salienta-se que as análises de participação do sistema de aquecimento solar no consumo total de energia são importantes para compreender resultados oriundos de análises qualitativas e estudos de satisfação com a tecnologia. Durante o levantamento de dados, a percepção de economia de energia proporcionada pelo sistema de aquecimento solar, relatada pelos entrevistados, estava relacionada ao consumo total de energia e não aos resultados do sistema isolado. Com o emprego da medição, a participação da tecnologia diante do consumo total pode ser utilizada para melhor compreensão da análise de percepção.

A Figura 100 apresenta os resultados de consumo de energia total obtidos para a família contida no agrupamento 1.

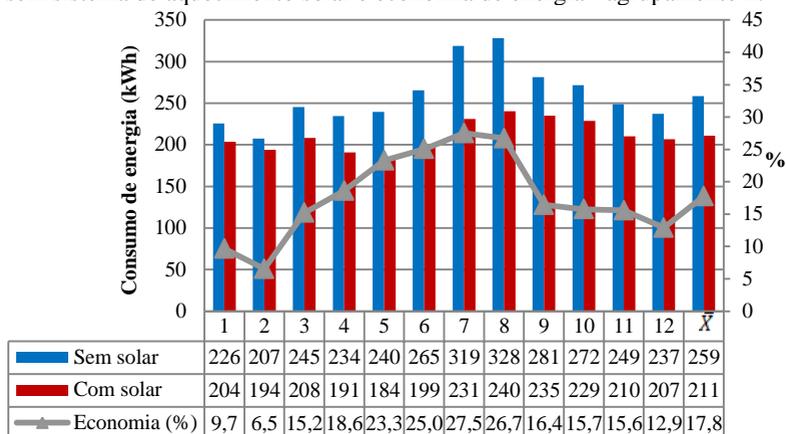
Figura 100 - Consumo total de energia elétrica, por mês, nos cenários com e sem sistema de aquecimento solar e economia de energia - agrupamento 1.



Em média mensal, a família composta por duas pessoas obteve consumo de 123 kWh/mês em unidade com sistema de aquecimento solar. Considerando a economia obtida com o sistema, o consumo médio total em cenário sem sistema de aquecimento solar seria de 142 kWh/mês. Desta forma, a redução média do consumo total proporcionada pelo sistema de aquecimento solar foi de 13,1% ao mês. Nos meses de janeiro a abril e de outubro a dezembro não houve o consumo de energia elétrica para aquecer a água do banho. A falta de entendimento do funcionamento do sistema de aquecimento solar durante os meses mais frios refletiu na redução da economia média mensal.

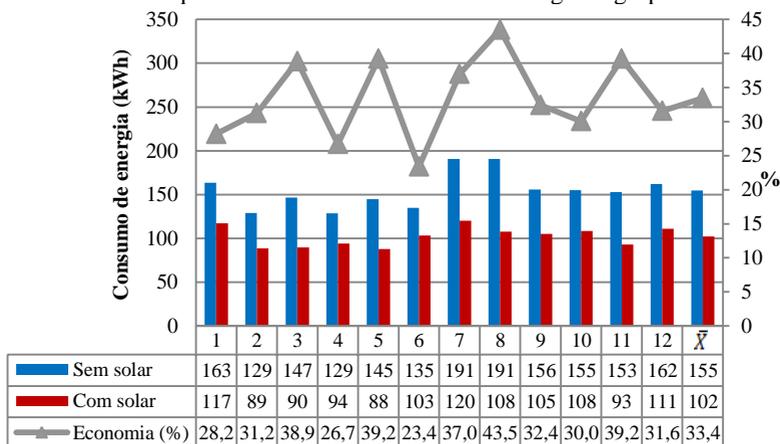
A família representante do agrupamento 2 obteve consumo de energia de 211 kWh em média mensal, em cenário com sistema de aquecimento solar, demonstrado na Figura 101. No cenário sem sistema de aquecimento solar, o consumo médio seria de 259 kWh/mês, o que refletiu em uma economia de 17,8%. Ressalta-se que a redução seria maior se a família não apresentasse dificuldade para mistura da água.

Figura 101 - Consumo total de energia elétrica, por mês, nos cenários com e sem sistema de aquecimento solar e economia de energia - agrupamento 2.



A família representante do agrupamento 3 apresentou baixo consumo de energia, conforme demonstrado na Figura 102.

Figura 102 - Consumo total de energia elétrica, por mês, nos cenários com e sem sistema de aquecimento solar e economia de energia - agrupamento 3.

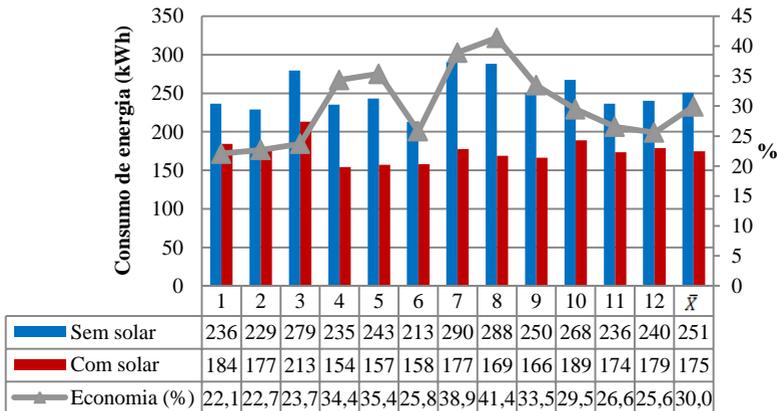


No cenário com solar o consumo médio mensal foi de 102 kWh. Com o subsídio dos 100 primeiros kWh a família não precisou pagar a conta de energia de cinco meses do ano. No cenário sem sistema de aquecimento solar o consumo médio mensal seria de 155 kWh. A redução no consumo total médio foi de 33,4%, sendo o maior valor

obtido entre as unidades monitoradas. A redução máxima ocorreu em agosto, chegando a 43,5%.

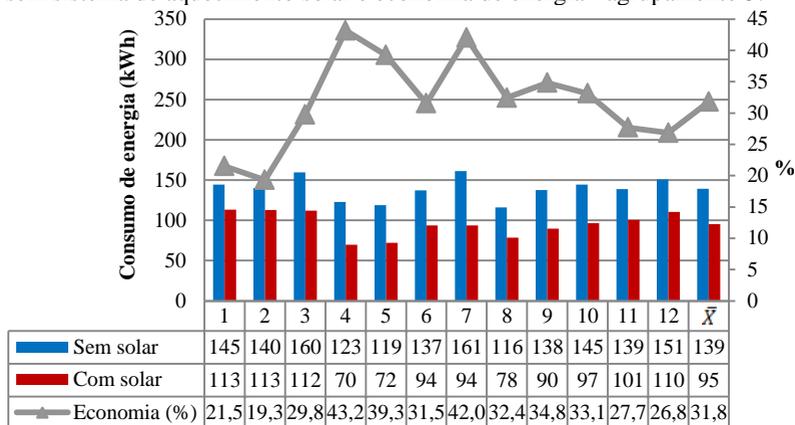
A família do agrupamento 4 obteve consumo médio mensal de 175 kWh/mês em cenário com solar. Em cenário sem solar o consumo médio mensal seria de 251 kWh/mês. A economia máxima proporcionada pelo sistema de aquecimento solar foi de 41,4% no mês de agosto e a média foi de 30,0%, conforme a Figura 103.

Figura 103 - Consumo total de energia elétrica, por mês, nos cenários com e sem sistema de aquecimento solar e economia de energia - agrupamento 4.



Para a família do agrupamento 5 a economia de energia média com o sistema de aquecimento solar proporcionou uma redução média mensal de 31,8% no consumo total de energia (Figura 104). A família se destaca pelo menor consumo médio mensal de energia com 95 kWh/mês. Por meio de subsídio dos primeiros 100 kWh praticado pela concessionária local, a família não pagou a conta de energia elétrica em sete meses do ano. Em cenário sem solar o consumo médio mensal seria de 139 kWh/mês.

Figura 104 - Consumo total de energia elétrica, por mês, nos cenários com e sem sistema de aquecimento solar e economia de energia - agrupamento 5.



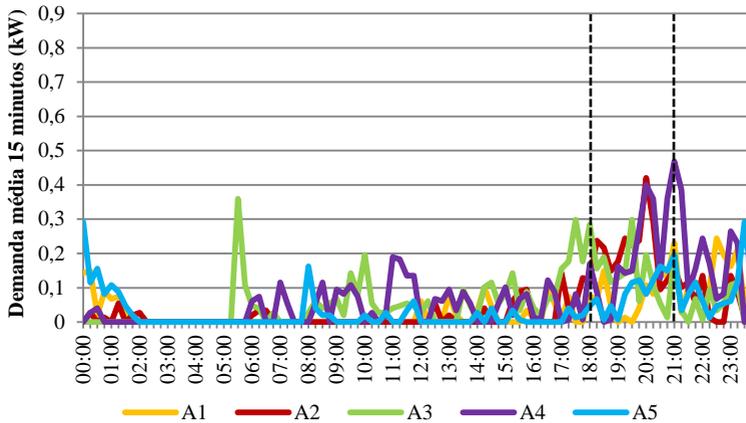
Com base nas reduções proporcionadas pelo sistema de aquecimento solar nas cinco unidades monitorada, obteve-se uma redução média ponderada de 26% no consumo de energia.

### 6.3.8 Análise da demanda de energia elétrica nos cenários sem e com sistema de aquecimento solar

A variação na demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho foi observada em cenários sem e com o sistema de aquecimento solar ao longo do ano, para os dias úteis. A seguir, destacam-se os resultados obtidos para os meses de janeiro de 2014 e julho de 2013, compreendendo, respectivamente, o período de verão e o de inverno. Os resultados para os demais meses encontram-se no Apêndice E.

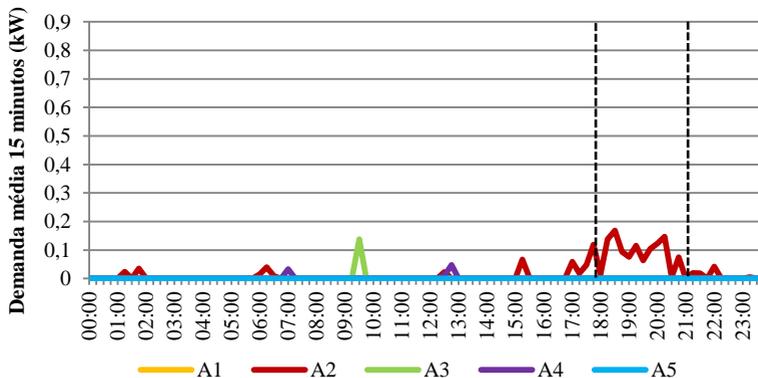
A Figura 105 ilustra a demanda de energia elétrica no mês de janeiro, em média mensal, para o cenário sem sistema de aquecimento solar. Na análise mensal, percebe-se que mesmo no período de férias, o horário de pico, entre as 18:00 e 20:59, é o mais utilizado para os eventos de banho.

Figura 105 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário sem solar, em dias úteis – janeiro de 2014.



No cenário com o sistema de aquecimento solar (Figura 106), a demanda de energia elétrica, no horário de pico, apresenta-se nula. Apenas a família contida no agrupamento 2 faz uso do sistema auxiliar de aquecimento, devido a dificuldade para mistura da água do banho em dias de alta temperatura.

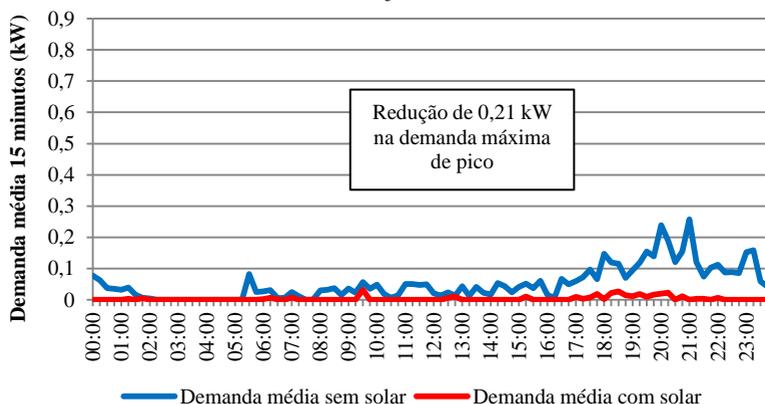
Figura 106 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário com solar, em dias úteis – janeiro de 2014.



A Figura 107 ilustra a demanda média de energia elétrica para o mês de janeiro, nos cenários com e sem o sistema de aquecimento solar.

Mesmo com a baixa demanda de energia elétrica, típica nos meses de verão, obteve-se redução de 0,21 kW na demanda máxima de pico.

Figura 107 - Demanda média de energia elétrica para aquecer a água do banho em dias úteis – janeiro de 2014.



A Figura 108 ilustra a demanda de energia elétrica no mês de julho, em média mensal, para o cenário sem sistema de aquecimento solar. Percebe-se, no período de inverno, o predomínio de banhos no horário de pico. Neste período, a demanda máxima obtida no agrupamento 4, chegou a 1,71 kW. Pode-se observar também, picos próximo das 12:00 e no início da manhã.

No cenário com sistema de aquecimento solar (Figura 109) a demanda máxima de pico se reduz, principalmente na família do agrupamento 4. A demanda máxima de pico é obtida pela família do agrupamento 2 com 0,61 kW.

Figura 108 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário sem solar, em dias úteis – julho de 2013.

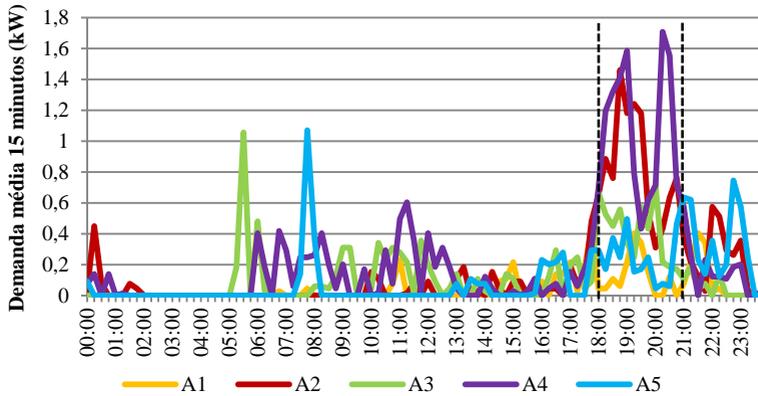
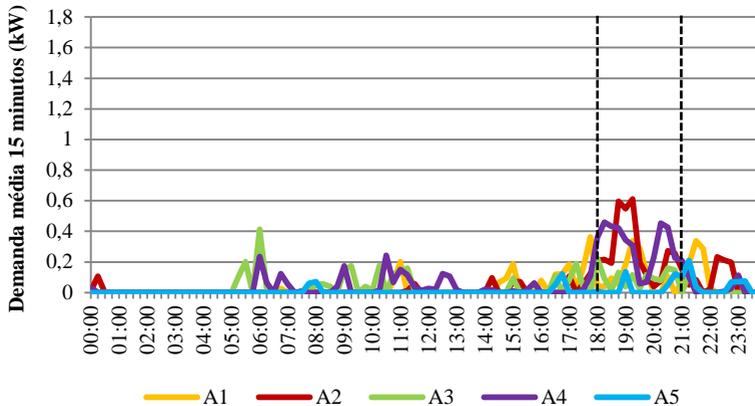
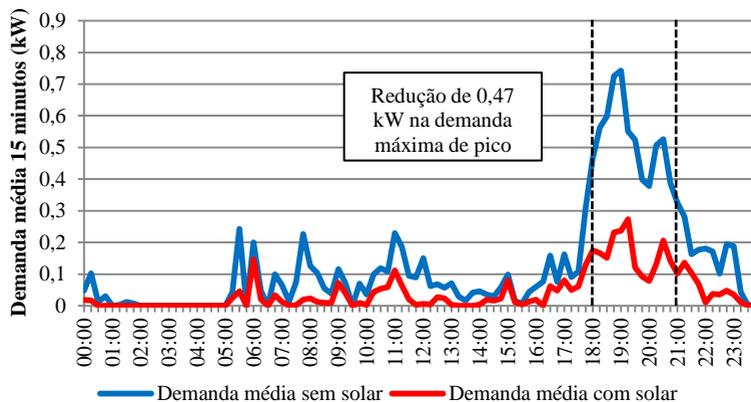


Figura 109 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário com solar, em dias úteis – julho de 2013.



A Figura 110 ilustra a demanda média de energia elétrica para o mês de julho, nos cenários com e sem o sistema de aquecimento solar. Neste mês, obteve-se redução de 0,47 kW na demanda máxima de pico, atingindo o valor mais alto entre todos os meses do ano.

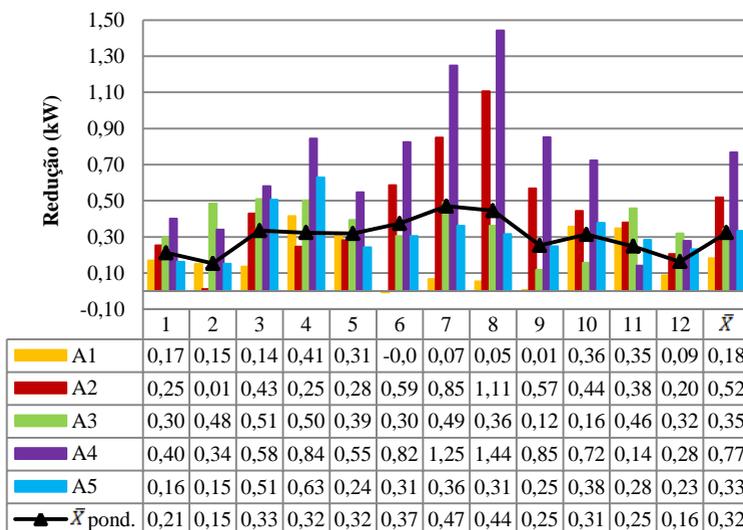
Figura 110 - Demanda média de energia elétrica para aquecer a água do banho, em dias úteis – julho de 2013.



### 6.3.8.1 Reduções na demanda máxima de pico

A Figura 111 contém as reduções na demanda máxima de pico, obtidas com base nas economias nas unidades habitacionais monitoradas e na demanda média.

Figura 111 - Redução mensal na demanda máxima de pico, por agrupamento, em dias úteis – valores absolutos.

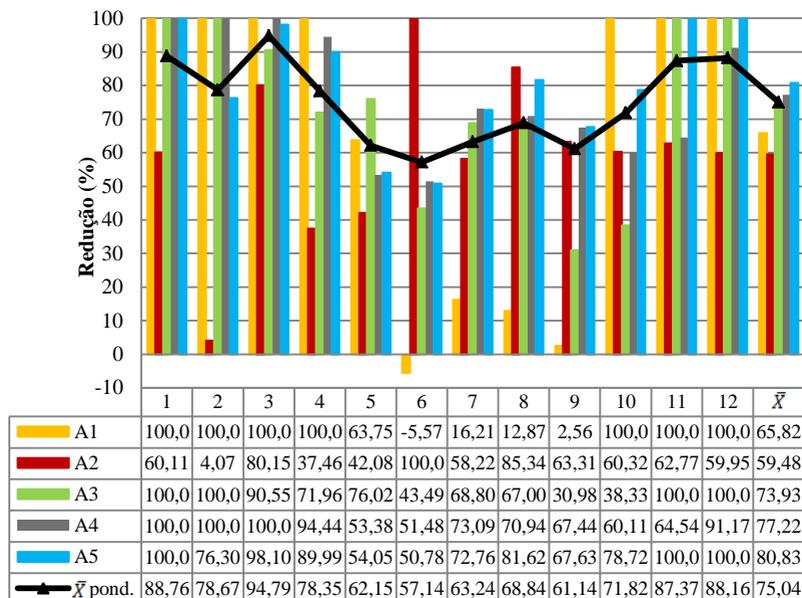


Observa-se grande variação nos valores de redução entre as famílias monitoradas. A família contida no agrupamento 4 se destaca pelos maiores valores de redução na demanda máxima de pico, principalmente nos meses de inverno. Eventos de banho prolongados, principalmente no horário de pico, e o grande aproveitamento do sistema de aquecimento do solar, ocasionaram a obtenção de reduções de até 1,44 kW (mês de agosto). A menor redução na demanda máxima de pico foi obtida pela família do agrupamento 1, que em média mensal, chegou a apenas 0,18 kW. O baixo valor se deve à ausência de uso do sistema de aquecimento solar nos meses de inverno. Analisando as reduções na demanda média, obteve-se valor máximo em julho com 0,47 kW e mínimo em dezembro, com 0,16 kW. A redução em média mensal, no horário de pico, chegou a 0,32 kW, por unidade habitacional.

Para comparar os dados obtidos neste estudo com o método de cálculo da Aneel (2013) para obtenção da redução na demanda de pico (ver equação 2), é preciso considerar o reservatório térmico com uma resistência elétrica no seu interior. Adotando potência de 800 W para um reservatório térmico de 200 litros (ver Tabela 1), e um fator de coincidência na ponta (FD) de 0,10, a redução na demanda de pico seria de 0,37 kW. O resultado está próximo ao obtido neste estudo, porém o cálculo adotado não tem relação com o que ocorre na prática, onde o chuveiro elétrico de três níveis representa o sistema auxiliar de aquecimento.

As reduções em percentuais podem ser observadas na Figura 112. A família representante do agrupamento 1 se destaca por obter 100% de redução na demanda máxima de pico para os meses de janeiro a abril e outubro a dezembro. O resultado se deve ao uso exclusivo da água quente do reservatório térmico nos meses mais quentes do ano. A família contida no agrupamento 5 apresenta a maior porcentagem de redução na demanda máxima de pico, chegando a 80,83% em média mensal. O resultado pode ser atribuído ao uso eficiente do sistema de aquecimento solar ao longo do ano. Na análise da demanda média, a redução na demanda máxima de pico chegou a 75%, por unidade habitacional.

Figura 112 - Redução mensal na demanda máxima de pico, por agrupamento, em dias úteis – valores relativos.



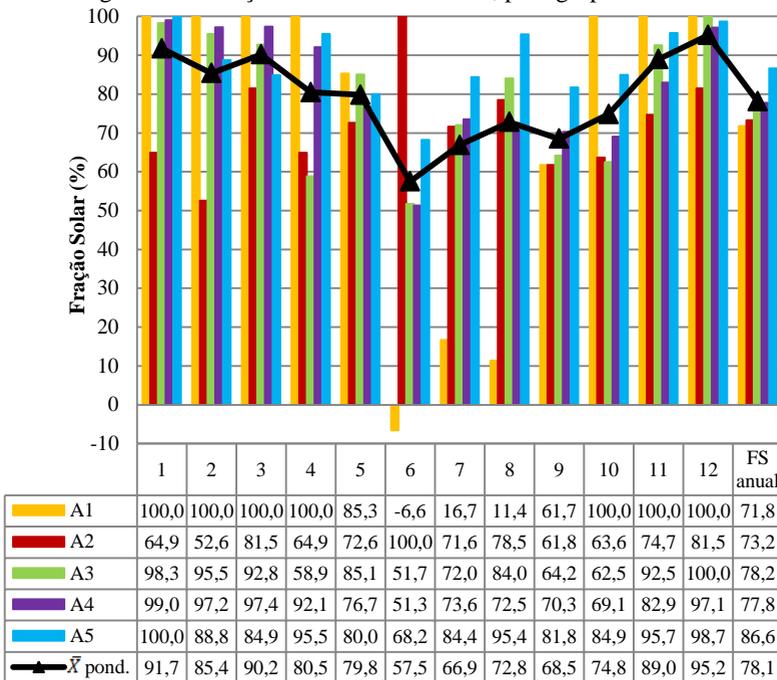
Destaca-se que as análises das reduções em percentuais permitem identificar os usuários que utilizam o sistema de aquecimento solar de maneira mais eficiente. As análises em valores absolutos destacam os maiores consumidores.

### 6.3.9 Fração solar

As medições permitiram obter a fração solar real (Figura 113), resultante do uso efetivo da energia entregue pelo sistema de aquecimento solar às famílias.

A fração solar obtida entre os agrupamentos analisados variou de 71,8% a 86,6%. Percebe-se que as condições de radiação solar são as mesmas entre os agrupamentos, assim como as características técnicas do sistema de aquecimento solar. As variações são atribuídas ao comportamento do usuário no aproveitamento da energia entregue pelo sistema. Neste estudo a fração solar média obtida foi de 78,1%.

Figura 113 - Fração solar mensal e anual, por agrupamento.



Segundo a Figura 113, a fração solar mais alta foi obtida para a família do agrupamento 5, devido ao grande aproveitamento do sistema de aquecimento solar e baixa demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho. A família contida no agrupamento 3 apresentou o segundo maior valor de fração solar, seguida pela família do agrupamento 4. Neste último, a economia proporcionada pelo sistema foi significativa, porém a demanda de energia para aquecer a água do banho manteve-se alta ao longo do ano. Os valores mais baixos de fração solar foram obtidos pela família do agrupamento 1, devido ao não uso do sistema nos meses frios, e pela família contida no agrupamento 2, devido ao uso intenso do sistema auxiliar de aquecimento.

## 7 CONCLUSÕES

Esta pesquisa contribuiu para demonstrar que a economia de energia obtida por meio de sistema de aquecimento solar instalados em larga escala, em empreendimentos habitacionais de interesse social, não pode estar dissociada à forma como o usuário utiliza o sistema. Para isso, duas abordagens foram adotadas, uma qualitativa aliada ao monitoramento não instrumentado, e outra quantitativa, com base em medições do sistema de aquecimento solar de água.

A análise qualitativa permitiu identificar que 80% dos entrevistados estavam satisfeitos com o sistema de aquecimento solar. No entanto, 63% apresentavam dificuldades para misturar a água do banho, principalmente os usuários com baixo nível de escolaridade. Resultados positivos de economia na conta de energia foram obtidos em apenas 47% dos casos analisados, indicando dificuldade na percepção de economia pela família, a necessidade de estudos e de procedimentos metodológicos mais aprofundados.

A grande variabilidade socioeconômica e de consumo exigiu a subdivisão da amostra em cinco subgrupos homogêneos baseado na técnica de análise de agrupamento. As famílias foram subdivididas de acordo com seu potencial de economia obtendo a seguinte subdivisão:

- a) Famílias com baixo potencial de economia de energia, representado pelo agrupamento 1 composto por 15% dos casos;
- b) Famílias sem potencial de economia de energia, representado pelo agrupamento 2, composto por 22% dos casos;
- c) Famílias com bom potencial de economia de energia, representado pelos agrupamentos 5 e 3, composto por 47% dos casos;
- d) Famílias com economia de energia desconhecida, representado pelo agrupamento 4, composto por 16% dos casos, provenientes de assentamentos com ligação clandestina na rede.

Associado aos resultados de economia por subgrupo, todos os atributos de influência elencados neste estudo, ajudaram a caracterizar os subgrupos e a entender os problemas existentes. Viu-se que o agrupamento 1, com baixo potencial de economia de energia, caracteriza-se pelos idosos em famílias de menor composição, e

carregam as maiores porcentagens de analfabetismo. O agrupamento 2, sem potencial de economia de energia, agrega as famílias de maior composição com crianças maiores e adolescentes. Destaca-se por ser o grupo com maior dificuldade para mistura da água do banho e são as mais insatisfeitas com o sistema. O agrupamento 3, com bom potencial de economia, compõe-se por mulheres chefe de família, nível de escolaridade mais alto e grande satisfação com o sistema. Da mesma forma, se destaca o agrupamento 5, ocupando os maiores valores de economia obtidos na amostra. Compõem-se por famílias jovens com crianças novas. Por fim, foi obtido o agrupamento 4, com potencial de economia desconhecido, específico deste contexto de análise. Representam as famílias que praticavam ligação clandestina na rede.

A abordagem qualitativa possibilitou a compreensão prévia de como as famílias estão usando o sistema e quais as barreiras existentes que podem ser aprimoradas a partir de políticas públicas. Nesta etapa de estudo algumas barreiras que afetam diretamente o potencial de economia de energia foram identificadas como:

- (a) Dificuldade do uso da tecnologia por usuários de maior idade, bem como usuários de baixo grau de escolaridade;
- (b) Dificuldade do uso da tecnologia por famílias de maior composição com a presença de adolescente;
- (c) Dificuldade da compreensão dos benefícios da tecnologia quando o consumo pelos demais equipamentos eletrodomésticos é maior do que a participação do sistema de aquecimento de água;
- (d) Dificuldade para mistura da água do banho.

A ação pontual de assistência social aos grupos de baixíssima escolaridade como é o caso dos agrupamentos 1 e 4, permitirá que estes tenham maior compreensão e menor dificuldade do uso da tecnologia termossolar, aspecto altamente influente no potencial de economia do sistema.

A necessidade da medição detalhada se tornou evidente nos estudos preliminares e um procedimento de medição foi desenvolvido com enfoque para a relação entre o usuário e a tecnologia. Para isso, um conjunto de equipamentos deveria permitir, de forma integrada, a medição de potência, vazão de água e temperatura. Os hidrômetros preparados para leitura de água quente apresentaram problemas na indicação do volume escoado, embora tivessem sido programados para a detecção de vazão de água quente somente. Os procedimentos de calibração, verificações e medições piloto foram essenciais para

entender as incertezas associadas às limitações dos equipamentos e assegurar que estes estavam em conformidade com as especificações dos fabricantes. Medições piloto em uma unidade idêntica às monitoradas permitiram testar os equipamentos em condições reais. O monitoramento realizado em tempo real favoreceu a identificação e correção de erros obtidos em alguns sensores, assegurando os resultados finais. A escolha pela aquisição dos dados com transferência remota via sinal de celular foi importante ao estudo porque minimizou o contato com as famílias e permitiu extrair resultados realistas quanto ao uso do sistema de aquecimento solar.

Embora as condições de radiação e as características técnicas dos sistemas fossem similares, foi obtida uma grande dispersão nos dados de consumo e economia, demonstrando a influência significativa do usuário nos resultados de economia. O consumo de energia para uso do sistema de aquecimento solar oscilou de 1,71 a 5,42 kWh/pessoa, em média. A economia de energia elétrica variou de 9,51 a 18,6 kWh/pessoa. Extrapolando para a amostra, o sistema proporcionou economia de energia acumulada no ano de 145 kWh/pessoa.

A participação do sistema de aquecimento solar no consumo total de energia elétrica variou de 5,88% a 14,02%. O sistema promoveu redução no consumo total de 13,1 a 33,4%, atingindo uma média ponderada de 26% para o contexto de análise.

As reduções na demanda máxima de pico foram significativas em todos os agrupamentos, variando de 65,8% a 80,8%, chegando a uma média de 75%. Considerando que quatro dos cinco agrupamentos analisados recebem o subsídio dos 100 primeiros kWh na conta de energia, uma redução da demanda média de 75% no horário de pico é altamente vantajosa para a concessionária de energia que pode oferecê-la a um custo mais elevado para usuários de maior renda, fato já discutido em outros estudos. O fato ainda de se reduzir a demanda de energia no horário de pico tem reflexo direto no sistema de geração de energia elétrica no Brasil, já que as usinas termelétricas vêm ganhando participação significativa a cada ano. Porém, o grande beneficiário da inclusão do sistema de aquecimento solar deve ser o usuário. Quanto mais eficiente e confortável for o sistema e quanto maiores os esclarecimentos sobre o seu uso, os benefícios atingirão cada vez mais todos os envolvidos neste contexto.

A estratégia de medição proposta neste estudo foi construída para aplicação em conjuntos habitacionais de interesse social nas situações onde o sistema de aquecimento solar é instalado anterior à ocupação da unidade pela família. Nestas condições, não se tem o histórico de

consumo na unidade habitacional. Com esta limitação, os resultados de economia podem ser construídos com base em estimativas de cálculo combinadas com medições. O esquema de ocupação é medido no cenário com sistema de aquecimento solar e as potências de banho são estimadas com base em parâmetros de temperatura de banho e de água fria. A estratégia reduz investimentos com equipamentos que seriam instalados em unidades sem sistema de aquecimento solar (grupo de controle) e reduz as incertezas associadas às variações ocupacionais e de uso, existente entre diferentes famílias. O procedimento de medição apenas do cenário com sistema de aquecimento solar pode ser aplicado não somente em novos conjuntos habitacionais, mas também naqueles que possuem histórico de consumo anterior à instalação da tecnologia. A medição anterior à instalação da tecnologia carrega muitas incertezas associadas às variações climáticas e de ocupação além de tempo e custos desnecessários.

Quanto aos procedimentos de medição definidos pela ANEEL no âmbito do Programa de Eficiência Energética, não se tem o esclarecimento sobre medições da economia de energia em novos conjuntos habitacionais. O enfoque do programa para a medição antes e depois da inclusão da tecnologia limita a instalação da tecnologia em edificações existentes. Neste caso, as unidades são adaptadas para receber a tecnologia e necessitam de uma investigação posterior para verificações de funcionamento e mistura adequada da água do banho. Outro ponto a ser destacado é que embora exista o rigor nos procedimentos de medição do consumo de energia antes e após a instalação do sistema, as medições podem ser realizadas em curtos períodos de tempo. Desta forma, as variações climáticas anuais não são consideradas, tampouco a necessidade do período de adaptação para entendimento do funcionamento da tecnologia pela família.

Estimativas de consumo de energia para caracterizar o uso do aquecedor de passagem podem ser incorporadas nos procedimentos do programa, considerando as variações regionais de temperatura de banho e de água fria ao longo do ano. Entretanto, as medições do cenário com a tecnologia instalada precisam ocorrer em intervalos maiores de tempo, assegurando variações ocupacionais, comportamentais e climáticas.

Medições em larga escala devem considerar a variabilidade existente no contexto das habitações de interesse social. A interface com órgãos municipais responsáveis pela seleção das famílias permite obter informações sobre os critérios de escolha e assim identificar subgrupos homogêneos. Amostras por subgrupos permitem obter resultados de

economia mais realistas que consideram a variabilidade socioeconômica e de consumo.

Não há dúvidas quanto aos benefícios do sistema de aquecimento solar para preservar a matriz de geração elétrica brasileira, para as distribuidoras de energia elétrica e para a população de baixa renda de uma maneira geral. Entretanto, tais benefícios variam de acordo com a relação entre o usuário e a forma como ele se apropria da tecnologia, relação esta com forte influência do contexto social em que ambos estão inseridos. Considerando as ações de subsídio e doações oriundas de programas de governo ou políticas públicas, a investigação do desempenho do sistema de aquecimento solar em uso é essencial. Sobretudo pelo fato de que a tecnologia é instalada em larga escala com tipologia e dimensionamento padronizados para todas as regiões do Brasil. Esta padronização em larga escala minimiza os benefícios da tecnologia. As especificidades regionais devem ser consideradas na definição das características do sistema de aquecimento solar e do sistema auxiliar de aquecimento. Ações educativas após a inclusão da tecnologia devem ser intensificadas nos grupos familiares de menor nível de escolaridade. O aperfeiçoamento do mecanismo de mistura da água é um aspecto que também deve ser investigado, com enfoque para a automatização do sistema auxiliar de aquecimento.

Por fim, as metas de inclusão da tecnologia em habitações de interesse social devem ser norteadas não pela quantidade e sim para preservar a qualidade da tecnologia em uso. O investimento em qualidade permite preservá-la para as futuras gerações como um sistema de aquecimento de água que oferece economia de energia elétrica e conforto.

## 7.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

As principais limitações deste trabalho resultaram da disponibilidade de recursos para a realização das medições. A identificação de cinco subgrupos homogêneos forneceu uma boa homogeneidade interna para que pudessem ser investigados por medição. Porém, medições em um maior número de subgrupos poderiam permitir a identificação de outros problemas ou particularidades de uso do sistema.

As medições realizadas em um número reduzido de unidades habitacionais teve caráter investigativo, buscando compreender a relação entre o usuário e os resultados de economia. Em estudos com foco apenas nos resultados de economia, como no caso do programa de

eficiência energética da Aneel, o procedimento de medição em novos conjuntos habitacionais de interesse social pode ser ampliado para uma amostra estatisticamente significativa considerando a abordagem por subgrupo homogêneo. Desta forma, resultados mais apurados poderão ser obtidos investigando um maior número de unidades representativas de cada subgrupo e reduzindo as incertezas associadas ao número reduzido da amostra.

O sistema de medição adotado também foi limitado aos recursos disponíveis. O sensor de temperatura de água fria, instalado em apenas uma das unidades dificultou as análises de uso do sistema nas demais unidades. Os hidrômetros adotados no estudo apresentam custo reduzido. No entanto, apresentaram problemas decorrentes de alterações realizadas pelo fabricante para a leitura de água quente. Vários fabricantes nacionais comercializam hidrômetros para leitura de água quente, porém não se sabe o real desempenho do equipamento em condições prolongadas de uso. O Inmetro não possui uma regulamentação para certificação de hidrômetros para leitura de água quente. Neste estudo, a medição de volume de água misturada ficou impossibilitada pela indisponibilidade de hidrômetros que permitissem a sua leitura. Novas tentativas com hidrômetros de outros fabricantes poderiam identificar o modelo que atenderia este tipo de estudo, tendo cuidado na observação da resolução do sinal de pulso para reduzir a incerteza dos dados.

Por fim, os resultados são oriundos de um estudo de caso, em um contexto específico altamente influenciado por uma condição climática, tipologia de sistema, e especificidades de instalações. Tal estratégia de pesquisa foi essencial para investigar um fenômeno complexo ligado ao uso do sistema de aquecimento solar pela população de baixa renda, e poder assim analisar a influência do usuário nos resultados de economia.

## 7.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Recomenda-se como sugestão para futuros trabalhos:

- (a) Aplicar o procedimento de medição desenvolvido nesta pesquisa, em conjuntos habitacionais de interesse social com sistema de aquecimento solar, em amostras estatisticamente significativas por subgrupos homogêneos (no que se refere aos fatores socioeconômicos e de consumo dos usuários);

- (b) Desenvolver um sistema de medição de baixo custo com transmissão remota dos dados, que permita obter o esquema de uso do chuveiro em conjunto com a temperatura de banho e consumo do sistema auxiliar de aquecimento. O conjunto permitirá a obtenção de resultados de economia de energia no âmbito do programa de eficiência energética da Aneel e de avaliações mais simplificadas para retroalimentar as ações de subsídio de sistemas de aquecimento solar em conjuntos habitacionais de interesse social;
- (c) Testar tecnologias desenvolvidas para aquecedores de passagem, integrados ao sistema de aquecimento solar, que minimiza a operação da resistência elétrica por todos os membros da família, e realizar medições para entender os resultados obtidos;
- (d) Analisar as emissões de carbono associadas aos resultados de economia de energia obtidos neste estudo, considerando o ciclo completo do sistema de aquecimento solar, desde a sua produção, instalação, uso e descarte;
- (e) Investigar outras ações de eficiência energética inseridas na edificação, buscando compreender, por medição, como de fato os usuários operam as tecnologias ou dispositivos e os reais resultados de economia proporcionados.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Procedimentos do Programa de Eficiência Energética - PROPEE**. Brasília, 2013. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=27>. Acesso em 06/07/2015.

\_\_\_\_\_. **Relação de Projetos de Eficiência Energética Cadastrados na ANEEL**. 2014. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=27&idPerfil=6&idiomaAtual=0>. Acesso em 19/02/2015.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING, AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS - ASHRAE. **ASHRAE Guideline 12-2000: Minimizing the Risks of Legionellosis Associated with Building Water Systems**. American Society of Heating, Ventilating, and Air Conditioning Engineers: Atlanta, Georgia, 2000.

\_\_\_\_\_. **ASHRAE Guideline 14-2002: Measurement of Energy and Demand Savings**. American Society of Heating, Ventilating, and Air Conditioning Engineers: Atlanta, Georgia, 2002.

\_\_\_\_\_. **ASHRAE Handbook - HVAC Applications**. Chapter 41: Building Energy Monitoring. American Society of Heating, Ventilating, and Air Conditioning Engineers: Atlanta, Georgia, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7198: Projeto e execução de instalações prediais de água quente**. Rio de Janeiro, 1993.

\_\_\_\_\_. **NBR 5626: Instalação Predial de Água Fria**. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.220-3: Desempenho térmico de Edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.569: Sistemas de aquecimento solar de água em circuito direto – Projeto e instalação**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR  
CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO –  
ABRAVA/DASOL. **Energia Solar Térmica: Participação na Matriz  
Energética e Contribuições Socioeconômicas ao Brasil.** São Paulo:  
ABRAVA, 2014a.

\_\_\_\_\_. **Revista Sol Brasil** – fevereiro, 2014b. Edição 20. Disponível  
em [http://issuu.com/revistasolbrasil/docs/revista\\_sol\\_brasil\\_edicao20](http://issuu.com/revistasolbrasil/docs/revista_sol_brasil_edicao20).  
Acesso em 03/2015.

\_\_\_\_\_. **Revista Sol Brasil** – julho, 2014c. Edição 22. Disponível em  
[http://issuu.com/revistasolbrasil/docs/revista\\_sol\\_brasil\\_edicao22](http://issuu.com/revistasolbrasil/docs/revista_sol_brasil_edicao22).  
Acesso em 03/2015.

\_\_\_\_\_. **Revista Sol Brasil** – dezembro, 2014d. Edição 24. Disponível  
em [http://issuu.com/revistasolbrasil/docs/revista\\_sol\\_brasil\\_edicao24](http://issuu.com/revistasolbrasil/docs/revista_sol_brasil_edicao24).  
Acesso em 03/2015.

BARBARA, C. **Revisão da norma para sistemas de água fria e  
quente em debate.** 21/08/2015. Disponível em  
<http://www.sindusconsp.com.br/msg2.asp?id=8731>. Acesso em  
25/08/2015.

BARR, S.; GILG, A.W.; FORD, N. The household energy gap:  
examining the divide between habitual and purchase related  
conservation behaviours. **Energy Policy**, 33, 1425-1444, 2005.

BÉDARD, N.; LEDUC, M. Real-Life Conditions Performance of  
Residential Solar Water Preheaters in Quebec, Canada. In:  
**International Solar Energy Society – ISES Solar World Congress,**  
2011. Kassel, Germany.

BENEVIDES, J. Sistemas de Aquecimento Solar no Programa MCMV:  
Resultados e Desafios. In: **2º CB-SOL - Congresso Brasileiro de  
Aquecimento Solar.** São Paulo, agosto de 2014.

BERTOLDI, P.; REZESSY, S.; URGE, D. Tradable Certificates for  
Energy Savings: opportunities, Challenges, and Prospects for Integration  
with other Market Instruments in the Energy Sector. **Energy &  
Environment.** Vol. 16, p.960-992, 2005.

**BRASIL. Lei 9.991 de 24 de julho de 2000.** Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências. 2000a. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19991.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19991.htm).

\_\_\_\_\_. **Lei 12.212 de 20 de janeiro de 2010.** Dispõe sobre a Tarifa Social de Energia Elétrica; altera as Leis nos 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.925, de 23 de julho de 2004, e 10.438, de 26 de abril de 2002; e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Lei/L12212.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12212.htm). Acesso em 09/08/2013.

\_\_\_\_\_. Caixa Econômica Federal. **Termo de Referência – Sistemas de Aquecimento Solar de Água – Minha Casa, Minha Vida.** 2011a. Disponível em <http://www.scribd.com/doc/59949591/Termo-de-Referencia-CAIXA-MCMV-FINAL>.

\_\_\_\_\_. Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima. **Plano Nacional sobre Mudança no Clima – PNMC.** Brasília, 2008.

\_\_\_\_\_. Ministério das Cidades. **Portaria nº 325 de 07 de julho de 2011.** Brasília, 2011b.

\_\_\_\_\_. Ministério das Cidades. **Portaria nº 610 de 26 de dezembro de 2011.** Dispõe sobre os parâmetros de priorização e o processo de seleção dos beneficiários do Programa Minha Casa, Minha Vida - PMCMV Brasília, 2011c.

\_\_\_\_\_. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº246, de 17 de outubro de 2000.** Brasília, DF, 2000b.

\_\_\_\_\_. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº18, de 16 de janeiro de 2012.** Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R). Brasília, DF, 2012.

BROHUS, H.; HEISELBERG, P.; SIMONSEN, A.; SØRENSEN, K. C. Uncertainty of energy consumption assessment of domestic buildings. Building Simulation 2009. In: **Proceedings...** p.1022–1029, 2009. Glasgow, Scotland.

CENTRO DE REFERÊNCIA EM ENERGIA SOLAR E EÓLICA  
SERGIO BRITO – CRESESB. Banco de dados site  
<http://www.cresesb.cepel.br>. Último acesso em março de 2015.

CHANG, K.; LIN, W.; LEE, T.; CHUNG, K. Subsidy programs on diffusion of solar water heaters: Taiwan's experience. In: **Energy Policy**, 39 p. 563-567, 2011.

COPEL – COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA ELÉTRICA.  
**Chamada Pública DIS nº001/2014**. Disponível em [www.copel.com](http://www.copel.com).

CRISTENSEN, C.; BURCH, J. Monitoring Approaches for Utility Solar Water Heating Projects. In: **Proceedings of Solar'94**. The 1994 American Solar Energy Society Annual Conference. São José, California. P. 261-266. 1994.

EFFICIENCY VALUATION ORGANIZATION - EVO. **International Performance Measurement & Verification Protocol. Volume I: Concepts and Options for determining energy and water savings**. EVO, 2012. Disponível em [www.evo-world.org](http://www.evo-world.org). Acesso em 06/07/2015.

\_\_\_\_\_. **International Performance Measurement & Verification Protocol. Volume III: Concepts and Practices for Determining Energy Savings in Renewable Energy Technologies Applications**. EVO, 2003. Disponível em [www.evo-world.org](http://www.evo-world.org). Acesso em 14/07/2011.

\_\_\_\_\_. **International Performance Measurement & Verification Protocol. Volume III: Concepts and Practices for Determining Energy Savings in New Construction**. EVO, 2006. Disponível em [www.evo-world.org](http://www.evo-world.org). Acesso em 14/07/2011.

ELETRONBRAS/PROCEL – Programa de Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Guia de Medição e Verificação**. Rio de Janeiro, 2007a.

\_\_\_\_\_. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil** - Ano base 2005 - Classe residencial - Relatório Brasil. Rio de Janeiro, 2007b.

FANTINELLI, J. **Análise da Evolução de Ações na Difusão do Aquecimento Solar de Água para Habitações Populares: Estudo de Caso em Contagem, MG**. Tese de doutoramento. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. 2006.

FERREIRA, D.F. **Estatística Básica**. Lavras: Editora UFLA, 2009. 2ª edição. 293p.

FRIEDMAN, B.; BIRD, L. **Considerations for Emerging Market of Energy Savings Certificates**. Technical Report. National Renewable Energy Laboratory – NREL. 2008.

FROTA, A. **Manual do Conforto Térmico**. 5. ed. São Paulo: Estudio Nobel, 2001.

FURBO, S.; FAN, J.; ANDERSEN, E.; PERERS, B.; CHEN, Z. Energy Savings for Solar Heating Systems in One Family Houses. In: **International Solar Energy Society – ISES Solar World Congress**, 2011. Kassel, Germany.

GIGLIO, T.; LAMBERTS, R.; BARBOSA, M.; URBANO, M. A procedure for analysing energy savings in multiple small solar water heaters installed in low-income housing in Brazil. **Energy Policy**. Vol.72, p. 43-55. 2014.

GONÇALVES Jr, A. **Metrologia- Parte I**. Laboratório de Metrologia e Automação. Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

GRAM-HANSEN, K. Residential heat comfort practices: understanding users. **Building Research & Information**, Vol. 38(2), p. 175–186. 2010.

HAIR, J.F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L. **Análise Multivariada de Dados**. 6ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HAN, J.; KAMBER, M. **Data Mining Concepts and Techniques**. Elsevier Inc. San Francisco, 2006.

HARRISON, J.; LONG, S. **Solar Weatherization Assistance Program: Program Final Report**. Prepared for: Earl Billings, Florida Department of Community Affairs, Tallahassee, Flórida, 1998. Disponível em: <http://www.fsec.ucf.edu/en/publications/html/FSEC-CR-1028-98/index.htm>. Acesso em 20/02/2014.

HERNANDEZ, P.; KENNY, P. Net Energy Analysis of Solar Water Heating Installations in Operation. **Renewable and Sustainable Energy reviews**. Vol. 16, p. 170-177. 2012.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. **Médias históricas – 1976 a 2014**. Disponível em [http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias\\_Historicas/Londrina.htm](http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Londrina.htm). Acesso em 07/07/2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo 2010**. Disponível em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo\\_Demografico\\_2010](ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010). Acesso em 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. **Sistemas e Equipamentos para Aquecimento Solar de Água – Coletores Solares**. Edição 008/2011. 2011a. Acesso em 2011.

\_\_\_\_\_. **Sistemas e Equipamentos para Aquecimento Solar de Água – Reservatório térmico**. Edição 007/2011. 2011b. Acesso em 2011.

\_\_\_\_\_. **Tabela de consume de energia elétrica - chuveiros elétricos**. Edição 006/2014. Disponível em <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/chuveiro.pdf>. Acesso em 2014.

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES - IBM. **IBM SPSS Statistics 20 Core System: User's Guide**. US: 2011. Disponível em: <http://www.csun.edu/sites/default/files/statistics20-core-system-guide-32bit.pdf>. Acesso em 23/04/2015.

ISLAM, M.; SUMATHY, K.; KHAN, S. Solar Water Heating Systems and their Market Trends. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Vol. 17, p.1-25. 2013.

JORDAN,U.; VAJEN, K. Influence of the DHW Load Profile on the Fractional Energy Savings: A Case Study of a Combi-System with TRNSYS Simulations. **Solar Energy**. Vol.69. p. 197-208. 2000.

KALOGIROU, S. The energy subsidisation policies of Cyprus and their effect on renewable energy systems economics. **Renewable Energy**, 28 p.1711-1728, 2003.

\_\_\_\_\_. **Solar Energy Engineering: Processes and Systems**. United States of America: Academic Press, 2013.

KNUDSEN, S. Consumer`s Influence on the Thermal Performance of Small SDWH Systems – Theoretical Investigations. **Solar and Energy**, 73, p. 33-42, 2002.

LUNDH, M. Barriers and Possibilities with Domestic Solar Heating – Advantages of an Interdisciplinary Approach. In: **International Solar Energy Society – ISES Solar World Congress**, 2011. Kassel, Germany.

MADEIRA, G. **Análise do uso de sistemas de aquecimento solar de água em habitações de interesse social**: Estudo de caso no conjunto Pindamonhangaba “F”-SP. Dissertação de mestrado. Santo André: Universidade Federal do ABC, 2013.

MARTINS, F. R.; ABREU, S.L.; PEREIRA, E. B. Scenarios for solar thermal energy applications in Brazil. **Energy Policy**, 48, p.640-649, 2012.

MERRIGAN, T; PARKER, D. Florida Solar Energy Center (FSEC). Electrical Use, Efficiency, and Peak Demand of Electric Resistance, Heat Pump, Desuperheater, and Solar Hot Water Systems. In: **American Council for an Energy Efficient Economy**, August 1990, Asilomar Conference Center, Pacific Grove, CA.

MESQUITA, L.; PEREIRA, E.; RIBEIRO, M.; GONÇALVES, W.; NEVES, S. Solar Water Heaters for Social Housing Projects in Brazil. In: **ASES**, 2004.

NASPOLINI, H. F.; MILITÃO, H.S.G.; RÜTHER, R. The role and benefits of solar water heating in the energy demands of low-income dwellings in Brazil. **Energy Conversion and Management**, 51. p. 2835-2845, 2010.

NASPOLINI, H. F.; RÜTHER, R. The impacts of solar water heating in low-income households on the distribution utility's active, reactive and apparent power demands. **Solar Energy**, 85. p. 2023-2032, 2011.

NASPOLINI, H. F.; RÜTHER, R. Assessing the Technical and Economic Viability of Low-cost Domestic Solar Hot Water Systems (DSWHS) in Low-income Residential Dwellings in Brazil. **Renewable Energy**, vol. 48 p.92-99, 2012.

ONSET COMPUTER CORPORATE – ONSET. **HOBOWare User's Guide**. 2010. Disponível em: [http://www.onsetcomp.com/files/manual\\_pdfs/12730-R%20HOBOWare%20User%27s%20Guide.pdf](http://www.onsetcomp.com/files/manual_pdfs/12730-R%20HOBOWare%20User%27s%20Guide.pdf). Acesso em 06/07/2015.

PARKER, D. Research highlights from a large scale residential monitoring study in a hot climate. **Energy and Buildings** 35 p.863–876, 2003.

PEREIRA, E.; MESQUITA, L.; NETO, L.; ROCHA, J.; PEREIRA, L. BUONICONTRO, L.; ARREGUY E.; CUNHA, D. Solar Water Heating for Social Housing Projects in Brazil: The Sapucaias Case. In: **SESCI Conference**, 2003. Queen's University: Ontario, Canadá, 2003.

PEREIRA, E.; DOLABELLA, A.; BATISTA, J.; MOTTA, M.; BENEVIDES, J. Brazilian Experience in Solar Water Heating for Low Income Houses – “My House, My Life” Program. In: **International Solar Energy Society – ISES Solar World Congress**, 2011. Kassel, Germany.

POLINDER, H; AA, V.D. **Total energy use in residential buildings – the role of occupant behavior**. Project IEA Energy Conservation in

Buildings and Community Systems - Annex 53. Cauberg-Huygen Consulting Engineers, Rotterdam, 2011.

PRATES, J; ZAICOVSKI, M; GUETTER, A. **Inventário de Energia Solar no Paraná**. 2001. Disponível em <http://www.cbmet.com/cbm-files/11-5a265ef06586a8756837248033b062c7.pdf>. Acesso em abril, 2014.

RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK. **Renewables 2012: Global Status Report**. 2012. Disponível em: [www.ren21.net/gsr](http://www.ren21.net/gsr). Acesso em 19/02/2015.

RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK. **Renewables 2014: Global Status Report**. 2014. Disponível em: [www.ren21.net/gsr](http://www.ren21.net/gsr). Acesso em 19/02/2015.

ROULLEAU, T.; LLOYD, C.R. International policy issues regarding solar water heating, with a focus on New Zealand. **Energy Policy**, 36 p.1843-1857, 2008.

SALAZAR, J. **Economia de Energia e Redução do Pico na Curva de Demanda para Consumidores de Baixa Renda por Agregação de Energia Solar Térmica**. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina. 2004.

SANTIN, O.G.; ITARD, L.; VISSCHER, H. The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock. **Energy and Buildings**, 41, 1223-1232, 2009.

SOUZA, A. A.; ABREU, S.L. **Acompanhamento da Implantação de um Programa de Incentivo ao Uso de Sistemas de Aquecimento Solar em Programas de Habitação Social** – Contribuições para um plano de monitoramento e verificação nos projetos de aquecimento solar do programa habitacional Minha Casa, Minha Vida. Versão 1: minuta para avaliação. 2009.

STEVENSON, F.; LEAMAN, A. Evaluating Housing Performance in Relation to Human Behavior: new challenges. **Building Research & Information**. Vol. 38 (5), p. 437–441, 2010.

TABORIANSKI, V.; PRADO, R. Comparative Evaluation of the Contribution of Residential Water Heating Systems to the Variation of Greenhouse Gases Stock in the Atmosphere. **Building and Environment**. Vol. 39, p. 645-652. 2004.

THUR, A.; FURBO, S.; SHAH, L. Energy Savings in Solar Heating Systems. **Solar Energy**, 80 p. 1463-1474, 2006.

TIBA, S. (coord.). Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de dados solarimétricos. Recife: UFPE. 2000. Disponível em [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas\\_Solarimetrico\\_do\\_Brasil\\_2000.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf). Acesso em março de 2014.

UNITED STATES OF AMERICA. NEMP: North American Energy M&V Protocol. 1996. Disponível em [www.state.nj.us](http://www.state.nj.us). Acesso em 13/07/2011.

UNITED STATES OF AMERICA/Department of Energy. **M&V Guidelines: Measurement and Verification for Federal Energy Projects**. Version 3.0. 1998. Disponível em [www.eere.energy.gov/femp](http://www.eere.energy.gov/femp).

VINE, E.; HAMRIN, J. Energy savings certificates: A market-based tool for reducing greenhouse gas emissions. **Energy Policy**, 36 p.467-476, 2008.

WALKER, A.; CHRISTENSEN, C.; YANAGI, G. Time-of-Use Monitoring of US Coast Guard Residential Water Heaters with and without Solar Water Heating in Holonunu, HI. In: **ASME Solar**. March, 2003.

YIN, R. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2001. 2.ed.

YU, Z.; FUNG, B.; HAGHIGHAT, F.; YOSHINO, H.; MOROFSKY, E. A Systematic Procedure to Study the Influence of Occupant Behavior on Building Energy Consumption. **Energy and Building**, 43, p.1409-1417, 2011.

# APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO APLICADO NO RESIDENCIAL VISTA BELA



Medição e Verificação de Desempenho Energético de SAS em HIS



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA



QUESTIONÁRIO - RESIDENCIAL VISTA BELA.....Nº

Entrevistador: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ Clima: \_\_\_\_\_ Quadra/Lote: \_\_\_\_\_

## 1 Características familiares

- 1.1 Posição do entrevistado: ( ) Proprietário ( ) Cônjuge Outro \_\_\_\_\_ Trabalha fora? ( ) sim ( ) não  
 1.2 Tempo de moradia: \_\_\_\_\_/entrega 1 (abril) entrega 2 (julho) entrega 3 (agosto) 4 e 5 (setembro)  
 1.3 Número de pessoas na casa: \_\_\_\_\_  
 1.4 Possibilidade imediata de receber mais pessoas para morar na casa?( ) não ( ) sim Descrever \_\_\_\_\_  
 1.5 Idade e grau de escolaridade (GE) dos membros da família:

GE: 1-educação infantil / 2- ensino fundamental (1ª a 9ª ano) /3- ensino médio (1ª ao 3ª ano) /4- ensino superior

membro	1 (entrevistado)	2	3	4	5	6	7	8
posição								
idade								
Está na escola?								
Grau de escol.								

## 2 Hábitos de consumo de água quente pelo SAS

2.1 Em que horário do dia o/a senhor/a e sua família tomam banho na sua casa? Qual a duração do banho?

membro	1	2	3	4	5	6	7	8
rotina dia da semana								
rotina final de semana								
rotina no inverno								
duração do banho (aproxim.)								

2.2 Na sua moradia anterior, como a água quente para o banho era aquecida?

( ) Chuveiro elétrico ( ) Gás ( ) não era aquecida Outro \_\_\_\_\_

2.3 O/A senhor/a e sua família mudaram algum hábito de banho nesta nova moradia?

( ) não ( ) Sim, tomamos mais banhos por dia ( ) sim, tomamos banhos prolongados  
 Outro \_\_\_\_\_

## 3 Nível de Satisfação e condições de Operação e Manutenção do SAS pelo usuário

(nível de satisfação) 1- insatisfeito 2- pouco satisfeito 3- satisfeito 4- muito satisfeito

3.1 Qual seu nível de satisfação com o aquecedor solar de água? ( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4

3.2 Qual o nível de satisfação da sua família com o aquecedor solar de água (de maneira geral)?

( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4

3.3 O/A senhor/a tem dificuldades para usar o aquecedor solar? ( ) sim ( ) não

3.4 Sua família tem dificuldades para usar o aquecedor solar? ( ) sim ( ) não

3.5 O/A senhor/a sabe que a chave do chuveiro deve estar posicionada no centro quando tiver água quente no reservatório térmico? ( ) sim ( ) não / Verificar a posição da chave do chuveiro - ( ) ligado ( ) desligado

## Medição e Verificação de Desempenho Energético de SAS em HIS

- 3.6 Neste momento verificar (com a chave posicionada no frio) se o sistema tem água quente ( ) sim ( ) não
- 3.7 Usuário sabe misturar a água? ( ) sim ( ) não
- 3.8 Caso não tenha água quente procurar investigar junto ao usuário porque não tem: ( ) reservatório insuficiente para o consumo diário de água quente; ( ) dias chuvosos/ nublado/frio; ( ) problema no coletor solar Outro \_\_\_\_\_
- 3.9 Quando foi a última vez que precisou usar o chuveiro elétrico porque não tinha água quente no reservatório solar? ( ) hoje/ontem ( ) semana passada ( ) mês passado ( ) faz tempo, não me lembro ( ) nunca usou
- 3.10 O seu chuveiro “dá choque”? ( ) sim ( ) não ( ) antes dava mas o problema já foi solucionado.
- 3.10 O/A senhor/a trocou o chuveiro elétrico original? ( ) sim ( ) não
- 3.11 O/A senhor/a já chamou um técnico para fazer algum tipo de reparo no aquecedor solar? ( ) sim ( ) não Caso positivo, descrever o reparo: \_\_\_\_\_
- 3.12 O/A senhor/a sabe que a “placa” solar deve ser limpa anualmente? ( ) sim ( ) não
- 3.13 O/A senhor/a já limpou alguma vez sua placa? ( ) sim ( ) não ( ) não, mas pretendo limpar em breve.

## 4 Hábitos de conservação de energia e água do banho, energia elétrica e de conservação ambiental

Escala: 1- nunca 2- quase nunca 3-às vezes 4-sempre 5-não sabe

- 4.1 O/A senhor/a procura abrir o registro de água apenas no momento em que inicia o banho? ( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5
- 4.2 Quando o/a senhor/a usa o aquecedor solar, procura tomar banhos rápidos para não gastar água? ( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5
- 4.3 Quando o/a senhor/a utiliza o chuveiro elétrico procura tomar banhos rápidos para não gastar energia elétrica? ( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5
- 4.4 Logo após utilizar o chuveiro elétrico a chave quente/morno já é retornada para o frio? ( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5
- 4.5 O/A senhor/a se lembra de apagar as luzes ao sair de casa, ou de um cômodo? ( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5
- 4.6 Sua família se lembra de apagar as luzes ao sair de casa, ou de um cômodo? ( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5
- 4.7 Procura comprar lâmpadas econômicas ao invés da lâmpada convencional? ( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5
- 4.8 Procura comprar eletrodomésticos que consomem menos energia elétrica? ( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5
- 4.9 O/A senhor/a sabe o que significa o selo Procel ou a etiqueta do Inmetro? ( ) sim ( ) não
- 4.10 O/A senhor/a e sua família separam o lixo reciclável? ( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5
- 4.11 O/A senhor e sua família ensacam adequadamente o lixo e depositam em local apropriado para o seu recolhimento pelo lixeiro? ( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5
- 4.12 O/A senhor e sua família aproveitam a água da máquina de lavar roupa, após uma lavagem, para lavar quintal, piso de casa, tapetes... ( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5

## 5 Fatores econômicos

## 5.1 Quais os equipamentos elétricos que a família possui?

	geladeira	fogão	coifa/ exaustor	liquidificadora	forno microondas	televisão	DVD	computador	ferro elétrico	aparelho de som	Ventilador	Máquina de lavar roupa	Máquina de lavar roupa	Máquina de secar roupa		
quantidade																

- 5.2 Possui automóvel? ( ) Sim ( ) Não
- 5.3 Foram realizadas algumas benfeitorias na casa? ( ) sim ( ) não Descrever \_\_\_\_\_
- 5.4 Quanto sua família recebe de salário por mês? ( ) 0 a 1 s.m. ( ) 1 a 2 s.m. ( ) 2 a 3 s.m. \_\_\_\_\_
- 5.5 Poderia ver sua conta de energia elétrica? NUC: \_\_\_\_\_ Valor da fatura: R\$ \_\_\_\_\_ Consumo kWh/Mês: \_\_\_\_\_ / Histórico últimos 3 meses: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_
- 5.6 O/A senhor(a) considera cara sua conta de energia elétrica? ( ) sim ( ) não ( ) não sabe
- 5.7 Sua família se enquadra no sistema de tarifação social de energia elétrica? ( ) sim ( ) não ( ) não sabe
- 5.8 Quanto o/a senhor/a gastava com energia elétrica na sua antiga moradia? ( ) Cerca de \_\_\_\_\_ ( ) unidade não conectada na rede ( ) tarifa social ( ) não pagava-ligação clandestina na rede
- 5.9 Com a economia obtida (caso tenha economia) o que o/a senhor/a passou a consumir que não consumia antes? ( ) novos eletrodomésticos ( ) mais alimentos ( ) roupas novas ( ) mais energia elétrica ( ) nada, mantive minhas contas em dia ( ) nada ( ) não sei
- 5.10 Poderia ver sua conta de água? Matrícula: \_\_\_\_\_ Valor: R\$ \_\_\_\_\_ Consumo em m<sup>3</sup> \_\_\_\_\_
- 5.11 Qual o valor da prestação da casa em que mora? R\$ \_\_\_\_\_

## APÊNDICE B - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO – TCLE

O termo foi assinado por todos os 200 entrevistados no estudo, seguindo os procedimentos definidos pelo Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos, da Universidade Estadual de Londrina.

### **Título da pesquisa:**

### **“Medição e Verificação do Desempenho Energético de SAS em HIS”**

Prezado(a) Senhor(a):

Gostaríamos de convidá-lo (a) a participar da pesquisa **“Medição e Verificação do Desempenho Energético de Sistemas de Aquecimento Solar em Habitação de Interesse Social”**, realizada no **“Residencial Vista Bela”**. O objetivo da pesquisa é **“levantar hábitos de consumo de água quente e grau de satisfação em relação ao sistema de aquecimento solar existente”**. A sua participação é muito importante e ela se daria através de perguntas rápidas por meio de questionário. Gostaríamos de esclarecer que sua participação é totalmente voluntária, podendo você: recusar-se a participar, ou mesmo desistir a qualquer momento sem que isto acarrete qualquer ônus ou prejuízo à sua pessoa. Ressaltamos ainda que as informações serão utilizadas somente para os fins desta pesquisa e serão tratadas com o mais absoluto sigilo e confidencialidade, de modo a preservar a sua identidade.

Os benefícios esperados com o estudo estão na identificação de problemas no uso de sistemas de aquecimento solar de água buscando aperfeiçoá-los em novos projetos de Habitação de Interesse Social. Informamos que o senhor não pagará nem será remunerado por sua participação. Garantimos, no entanto, que todas as despesas decorrentes da pesquisa serão ressarcidas, quando devidas e decorrentes especificamente de sua participação na pesquisa. Caso você tenha dúvidas ou necessite de maiores esclarecimentos pode nos contactar: **Profa. Thalita Giglio / UEL / fone: 33714649**, ou procurar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina, na Avenida Robert Kock, nº 60, ou no telefone 3371-2490. Este termo deverá ser preenchido em duas vias de igual teor, sendo uma delas, devidamente preenchida e assinada entregue a você.

Londrina, 07 de setembro de 2012.

**Pesquisador Responsável: Thalita Giglio**

\_\_\_\_\_, tendo sido devidamente esclarecido sobre os procedimentos da pesquisa, concordo em participar **voluntariamente** da pesquisa descrita acima.

Assinatura (ou impressão dactiloscópica): \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_

## APÊNDICE C - RESULTADOS DA ANÁLISE DE AGRUPAMENTO.

Tabela 11 – Resultados obtidos por meio da análise de agrupamento, na amostra de 200 unidades habitacionais e por agrupamento.

Atributo	Min	Max	Média	Desvio Padrão	Amostra	A1	A2	A3	A4	A5	valor-p
<b>1<sup>A</sup></b>	1	8	3,67	1,47	1 - 6%	1 - 31%		1 - 4.5%	1 - 3%		0,00
					2 - 16,5%	2 - 24%	2 - 7%	2 - 24.5%	2 - 29%	2 - 4%	
					3 - 23%	3 - 38%	3 - 10%	3 - 33%	3 - 26%	3 - 13%	
					4 - 27%	4 - 3.5%	4 - 33%	4 - 29%	4 - 26%	4 - 36%	
					5 - 18.5%	5 - 3.5%	5 - 29%	5 - 9%	5 - 13%	5 - 32%	
					≥ 6 -9%	≥ 6 - 21%	≥ 6 - 3%	≥ 6 - 15%			
<b>2</b>	0	6	1,39	1,29	38%	8%	37%	38%	40%	47%	0,00
<b>3</b>	0	3	0,44	0,70	12%	14%	18%	15%	6%	7%	0,00
<b>4</b>	0	2	0,20	0,47	5%	45%	2%	1%	3%	1%	0,00
<b>5</b>	18	78	39,34	14,17	39,34	63	38,21	36,49	36,61	30,38	0,00
<b>6</b>	0	1	0,58	0,49	58%	35%	71%	16%	65%	98%	0,00
<b>7</b>	0	6	1,65	1,22	0 - 8,5%	0 - 38%	0 - 2%	0 - 4%	0 - 3.5%	0 - 4%	0,00
					1 - 54%	1 - 45%	1 - 60%	1 - 49%	1 - 74%	1 - 47%	
					2 - 15%	2 - 10%	2 - 17%	2 - 16%	2 - 13%	2 - 17%	
					3 - 10%	3 - 3,5%	3 - 7%	3 - 18%	3 - 3,5%	3 - 13%	
					4 - 11%	4 - 3,5%	4 - 14%	4 - 11%	4 - 6%	4 - 15%	
					5 - 1%	6 - 0,5%	5 - 0%	6 - 2%	5 - 4%		
<b>8</b>	0	1	0,32	0,47	33%	10%	31%	4%	24%	81%	0,00
<b>9</b>	0	1181	370,00	192,89	192,9	288,8	391,34	309,47	274,86	521,86	0,00
<b>10</b>	0	1	0,51	0,50	51% (sim)	52%	93%	31%	58%	28%	0,00
<b>11</b>	0	1	0,59	0,49	59% (sim)	31%	67%	64%	52%	70%	0,01
<b>12</b>	0	1	0,81	0,39	81% (sim)	97%	98%	98%	0%	96%	0,00
<b>13</b>	0	1	0,86	0,35	86% (sim)	90%	98%	96%	36%	98%	0,00
<b>14</b>	0	74,37	20,48	17,18	17,18	13,7	23,87	23,5	0%	32,49	0,00
<b>15<sup>B</sup></b>	0	6	0,91	1,14	15%	22%	14%	18%	18%	17%	0,69
<b>16</b>	0	3	0,43	0,73	18%	11%	11%	9%	9%	5%	0,28
<b>17</b>	0	6	1,05	1,26	18%	17%	14%	20%	24%	24%	0,02
<b>18</b>	0	7	2,27	1,57	39%	43%	53%	31%	43%	44%	0,00
<b>19</b>	0	4	0,58	0,91	10%	7%	8%	22%	6%	10%	0,00
<b>20</b>	0	1	0,34	0,48	34%	10%	14%	42%	55%	45%	0,00
<b>21<sup>C</sup></b>	0	3	2,18	0,99	80%	69%	52%	89%	94%	94%	0,00
					91% (sim)	83%	79%	96%	97%	100%	
					37% (sim)	45%	50%	31%	43%	17%	
<b>24</b>	29,7	288,9	110,37	40,99	110,37	77,95	152,59	93,35	100,67	115,35	0,00
<b>25</b>	1,00	25,67	9,83	4,33	9,83	6,98	12,9	9,11	8,59	10,34	0,00
<b>26</b>	0	49,89	19,25	10,94	19,25	12,38	30,15	18,71	15,36	21,6	0,00
<b>27</b>	-33,58	43,74	1,23	16,30	1,23	1,32	-6,28	9,53	-15,36	10,89	0,00

A - As porcentagens são referentes à soma total no agrupamento.

B - Atributos de 15 a 19 - Porcentagens foram definidas em relação ao número total de banhos declarados no agrupamento.

C - Atributo 21 - Porcentagem se refere a soma dos muito satisfeitos e satisfeitos com o sistema.



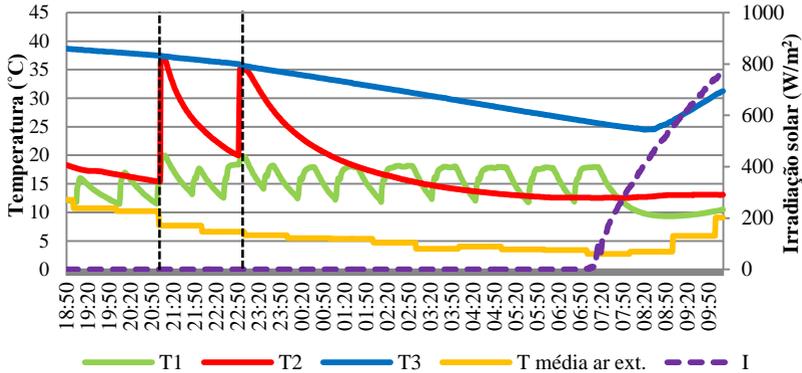
## APÊNDICE D - FUNCIONAMENTO DA VÁLVULA ANTICONGELAMENTO

Na Figura 114 tem-se um registro de funcionamento da válvula anticongelamento no dia 24/07/2013, na unidade habitacional do agrupamento 5, durante uma semana de baixas temperaturas. A ação da válvula é observada a partir do registro de vazão de água em Q1 e da alteração da temperatura em T1. Assim como observado em T1, a temperatura da água no interior do coletor solar oscila ao longo da madrugada elevando-se após a entrada de água proveniente do reservatório térmico e reduzindo-se após a perda de calor para o meio externo. Desta forma, a ação de abertura e fechamento da válvula se repete várias vezes ao longo da madrugada, com uma vazão, em Q1, aproximada de 1 l/min. O funcionamento da válvula é interrompido após a incidência da radiação solar na superfície do coletor solar.

A Figura 114 ilustra o período da noite e madrugada com o funcionamento da válvula. Neste período, dois banhos ocorreram entre 20:50 e 22:50, ocasionando alterações em T2 (a), em Q2 conforme (b) e na potência, apenas no segundo banho, conforme (c).

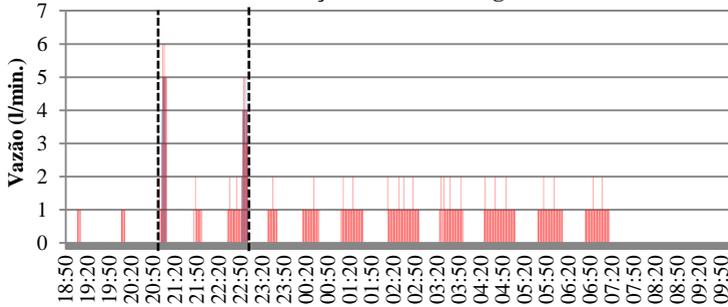
Figura 114 - Funcionamento da válvula anticongelamento: (a) medição de temperatura e irradiação solar, (b) de vazão de água, (c) de potência. Registro de banho em 24/07/2013, agrupamento 5.

**Medição de temperatura e irradiação solar**



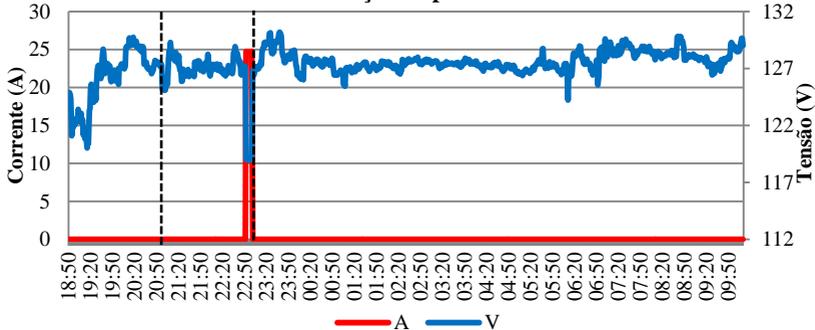
(a)

**Medição de vazão de água**



(b)

**Medição de potência**



(c)

## APÊNDICE E – RESULTADOS MENSAIS DE DEMANDA DE ENERGIA EM UNIDADES HABITACIONAIS MONITORADAS

As Figuras de 115 a 144 ilustram os resultados de demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, em cenário sem e com sistema de aquecimento solar, além da demanda média mensal. Os gráficos referem-se aos meses de fevereiro a junho e de agosto a dezembro. Os resultados para os meses de janeiro e julho estão descritos no texto principal.

Figura 115 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário sem solar – fevereiro de 2014.

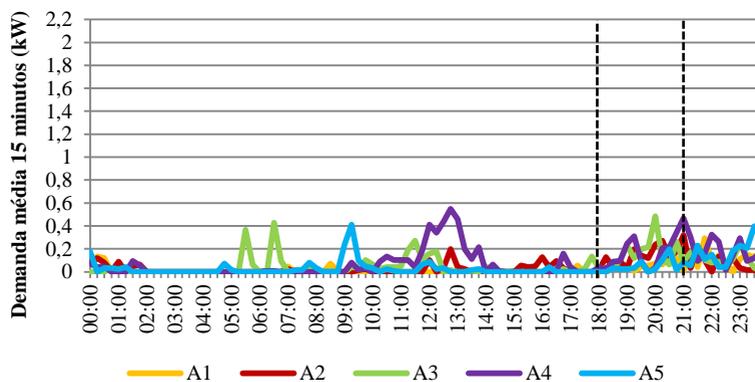


Figura 116- Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário com solar – fevereiro de 2014.

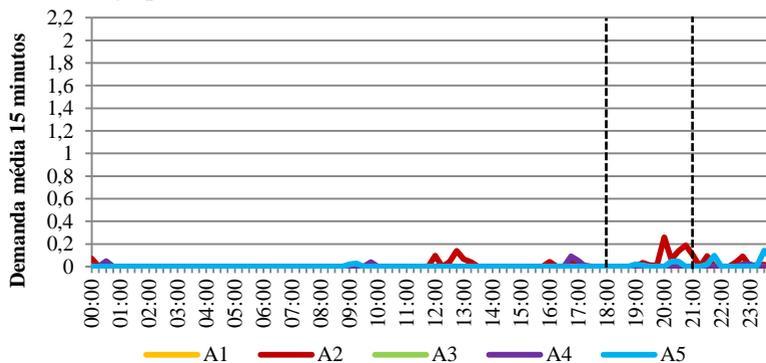


Figura 117 - Demanda média de energia elétrica para aquecer a água do banho em dias úteis – fevereiro de 2014.

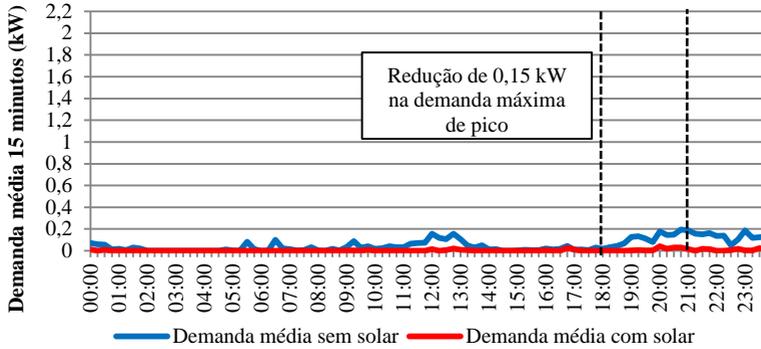


Figura 118 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário sem solar – março de 2014.

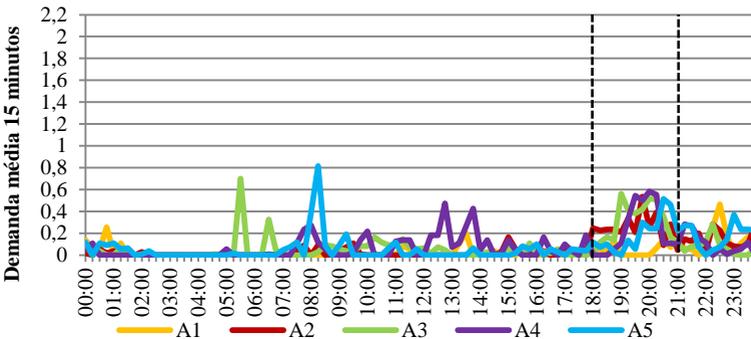


Figura 119 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário com solar – março de 2014.

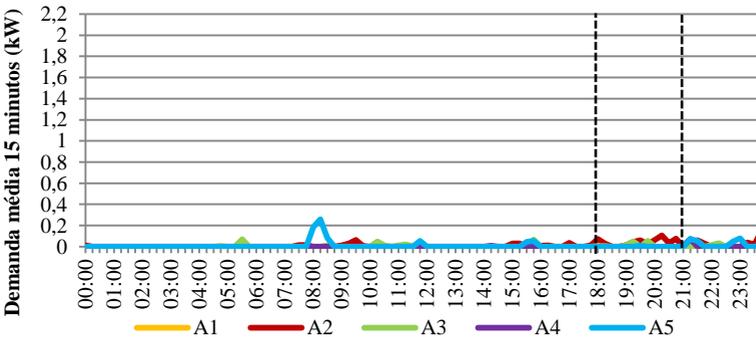


Figura 120 - Demanda média de energia elétrica para aquecer a água do banho em dias úteis – março de 2014.

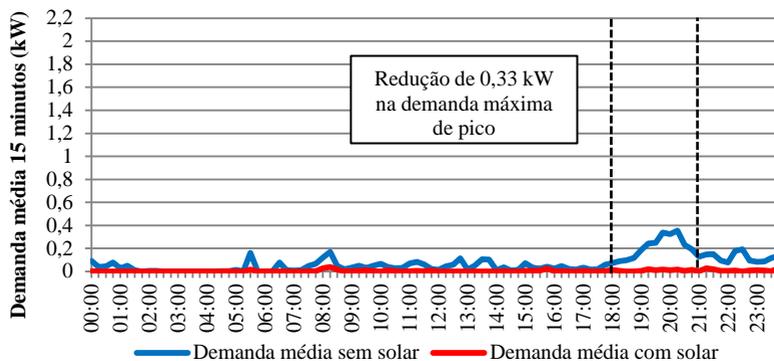


Figura 121 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário sem solar – abril de 2013.

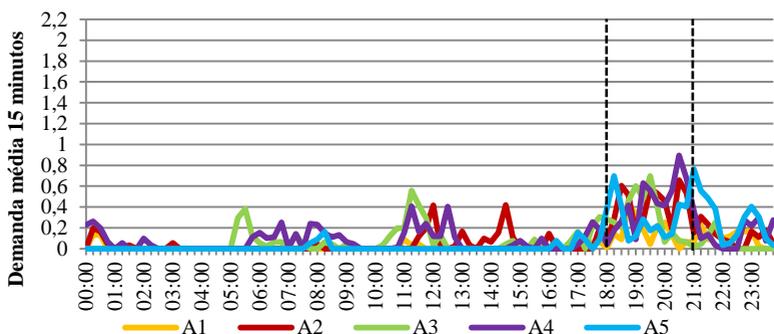


Figura 122 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário com solar – abril de 2013.

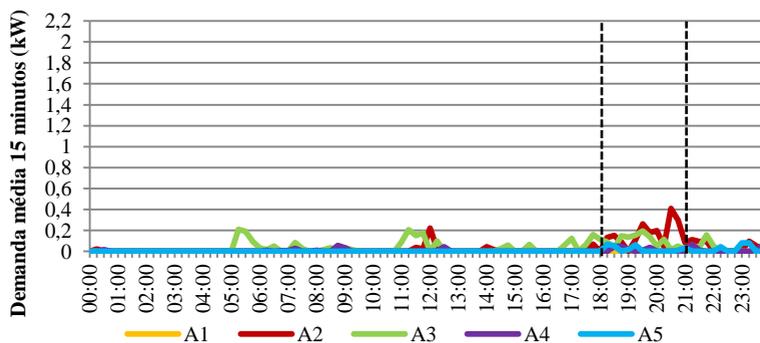


Figura 123 - Demanda média de energia elétrica para aquecer a água do banho em dias úteis – abril de 2013.

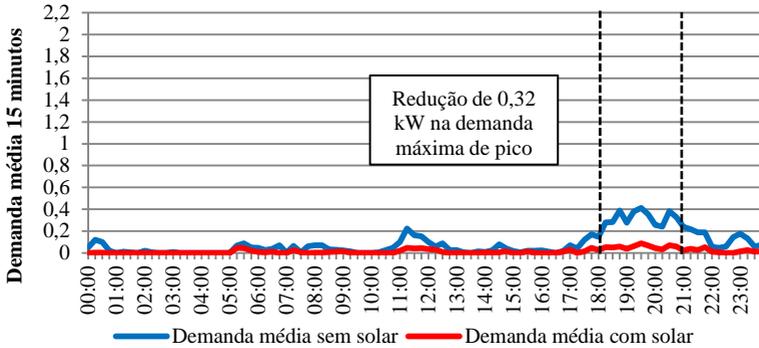


Figura 124 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário sem solar – maio de 2013.

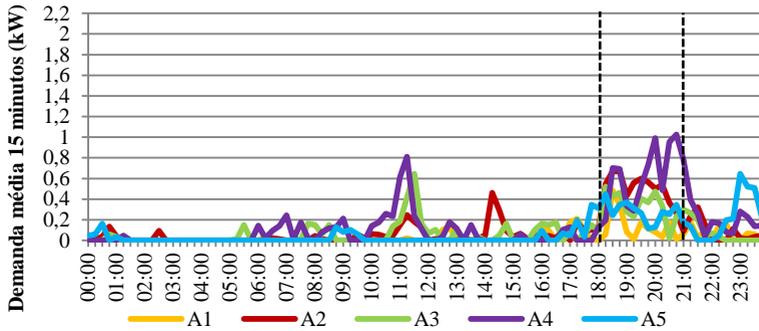


Figura 125 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário com solar – maio de 2013.

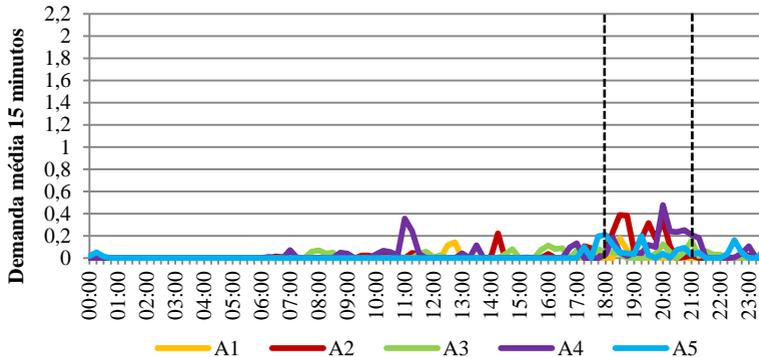


Figura 126 - Demanda média de energia elétrica para aquecer a água do banho em dias úteis – maio de 2013.

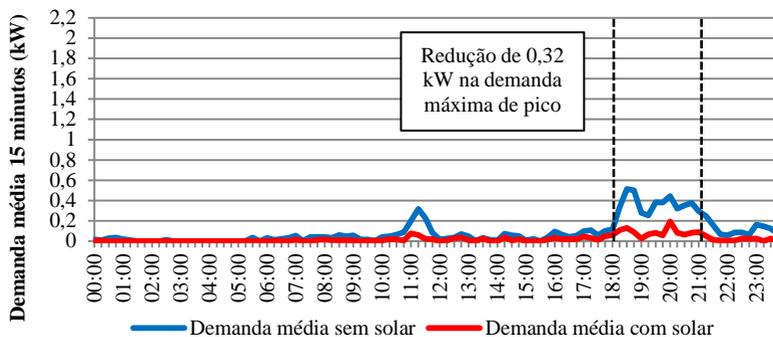


Figura 127 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário sem solar – junho de 2013.

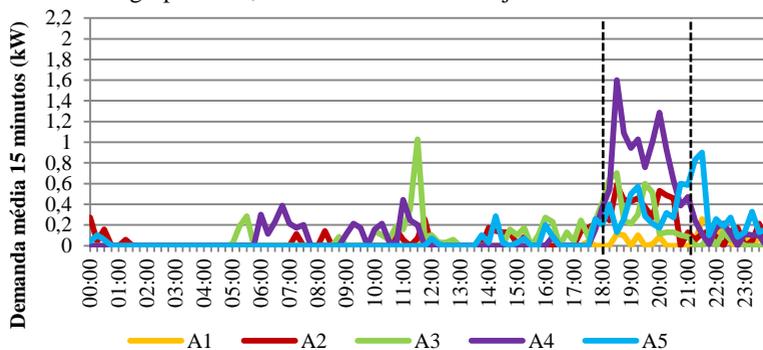


Figura 128 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário com solar – junho de 2013.

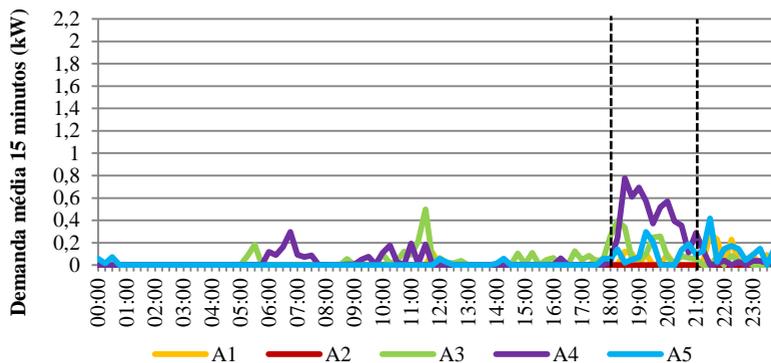


Figura 129 - Demanda média de energia elétrica para aquecer a água do banho em dias úteis – junho de 2013.

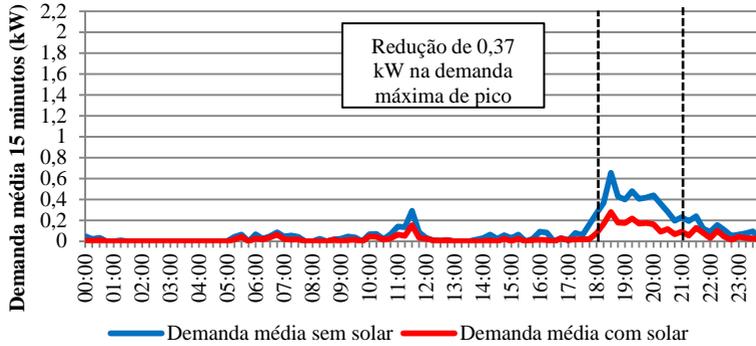


Figura 130 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário sem solar – agosto de 2013.

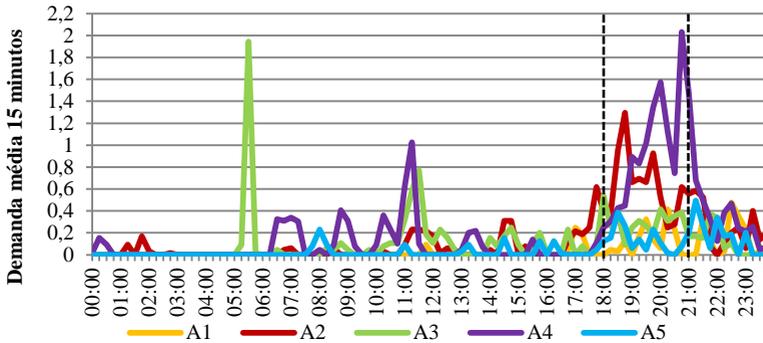


Figura 131 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário com solar – agosto de 2013.

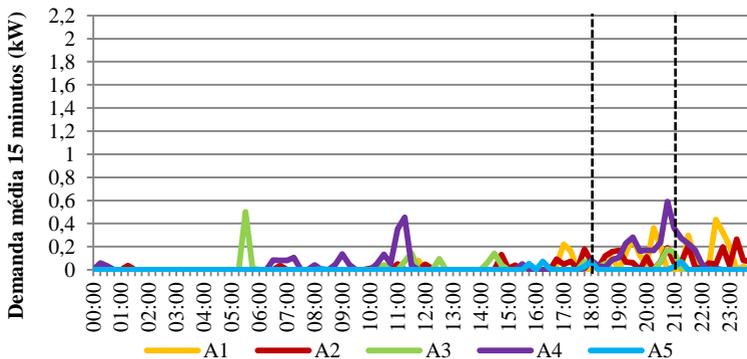


Figura 132 - Demanda média de energia elétrica para aquecer a água do banho em dias úteis – agosto de 2013.

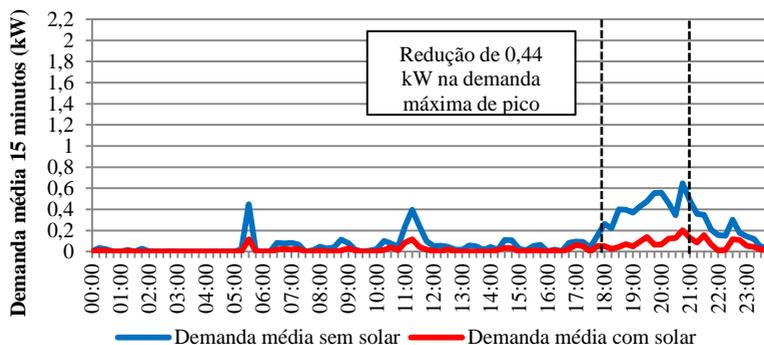


Figura 133 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário sem solar – setembro de 2013.

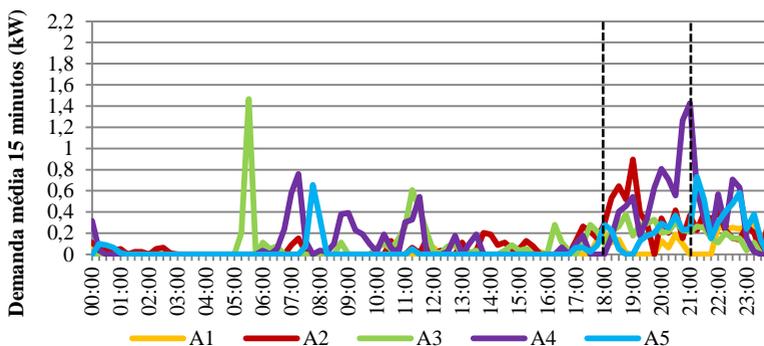


Figura 134 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário com solar – setembro de 2013.

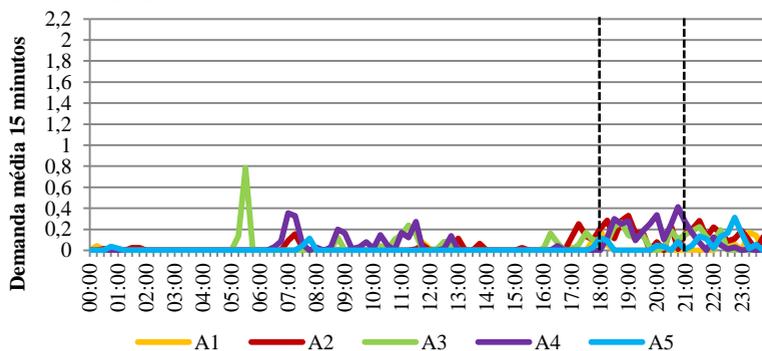


Figura 135 - Demanda média de energia elétrica para aquecer a água do banho em dias úteis – setembro de 2013.

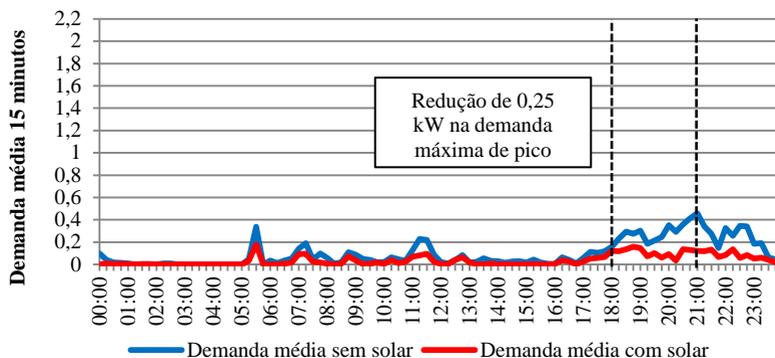


Figura 136 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário sem solar – outubro de 2013.

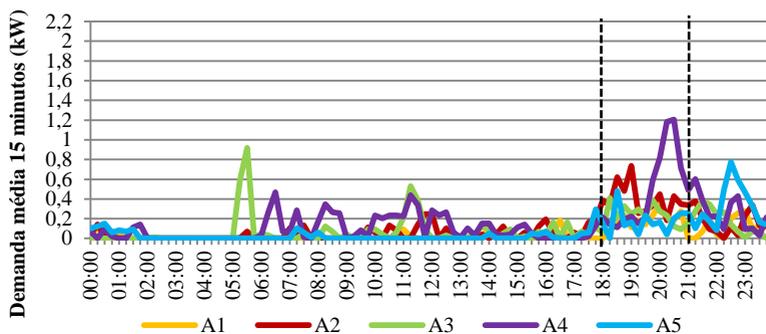


Figura 137 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, cenário com solar – outubro de 2013.

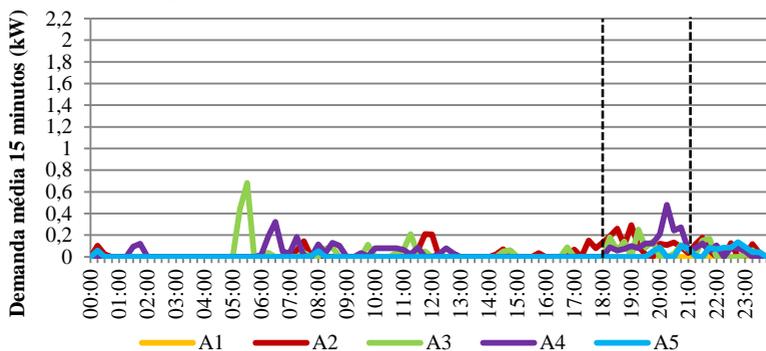


Figura 138 - Demanda média de energia elétrica para aquecer a água do banho em dias úteis – outubro de 2013.

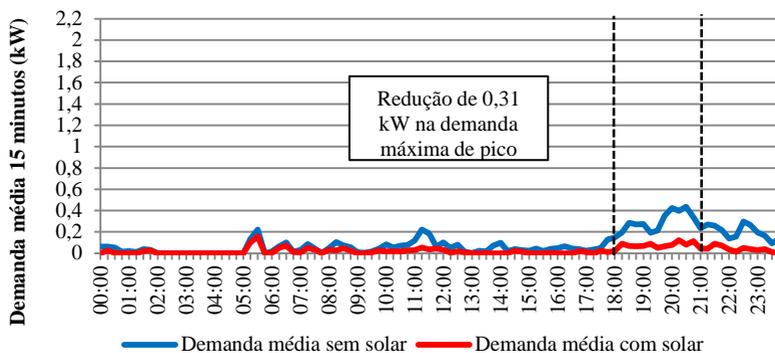


Figura 139 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário sem solar – novembro de 2013.

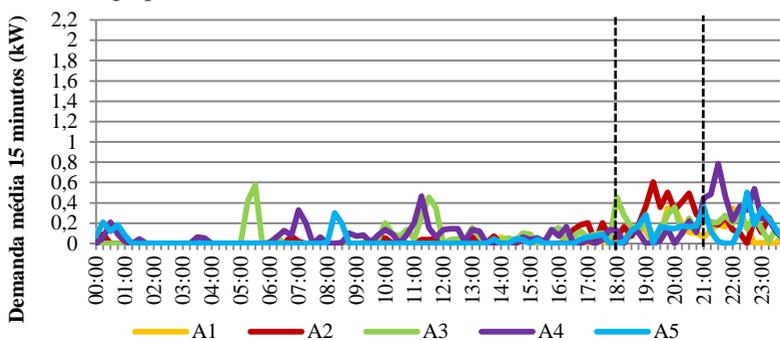


Figura 140 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário com solar – novembro de 2013.

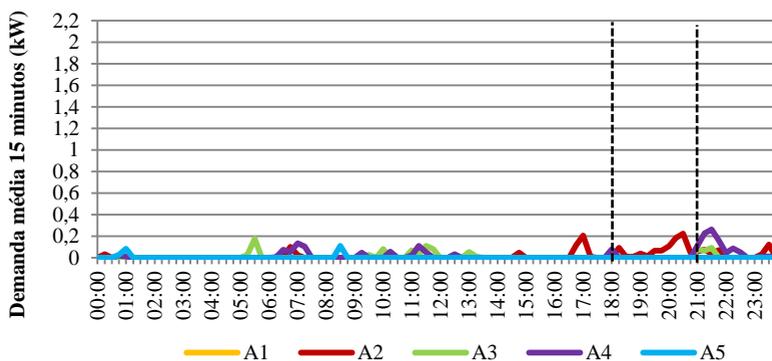


Figura 141 - Demanda média de energia elétrica para aquecer a água do banho em dias úteis – novembro de 2013.

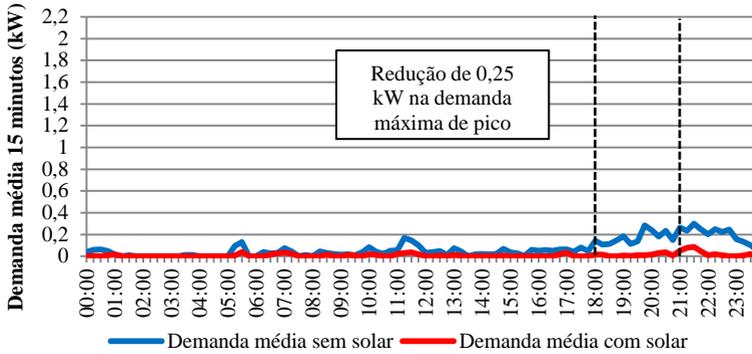


Figura 142 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário sem solar – dezembro de 2013.

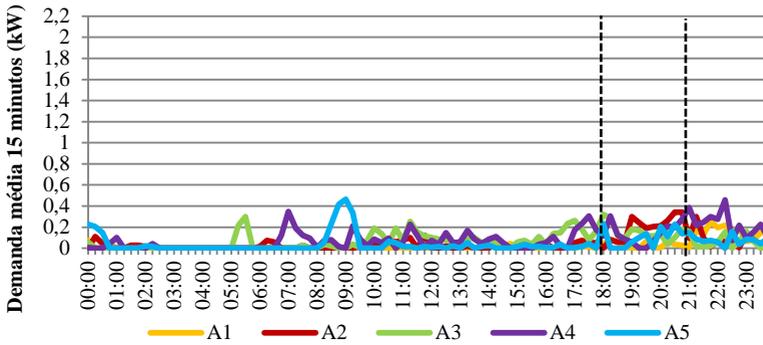


Figura 143 - Demanda de energia elétrica para aquecer a água do banho, por agrupamento, em cenário com solar – dezembro de 2013.

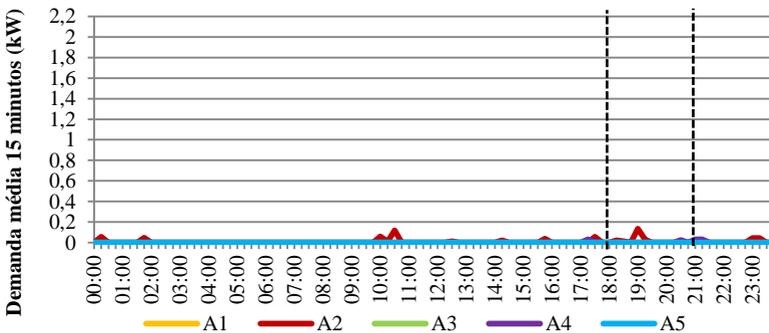


Figura 144 - Demanda média de energia elétrica para aquecer a água do banho em dias úteis – dezembro de 2013.

