

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**GISELE AUXILIADORA DE ALMEIDA RIOS**

**DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE  
SOCIAL**

Ilha Solteira  
2015

**GISELE AUXILIADORA DE ALMEIDA RIOS**

**DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE  
SOCIAL**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia  
do Campus de Ilha Solteira – UNESP como  
parte dos requisitos para a obtenção do título  
de Doutora em Engenharia Elétrica. Área do  
Conhecimento: Automação.

**Prof. Dr. LUIS CARLOS ORIGA DE OLIVEIRA**  
Orientador

Ilha Solteira  
2015

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

R586d Rios, Gisele Auxiliadora de Almeida.  
Desempenho termoenergético de habitação de interesse social / Gisele  
Auxiliadora de Almeida Rios. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2015  
147 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia  
de Ilha Solteira. Área de Conhecimento: Automação, 2015

Orientador: Luis Carlos Origa de Oliveira  
Inclui bibliografia

1. Eficiência energética. 2. Consumo de energia. 3. Energyplus.  
4. Edificações residenciais.



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

## **CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** Desempenho termoenergético de habitação de interesse social

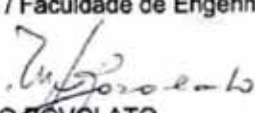
**AUTORA:** GISELE AUXILIADORA DE ALMEIDA RIOS

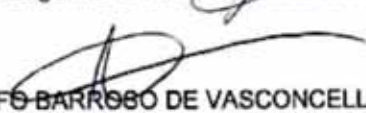
**ORIENTADOR:** Prof. Dr. LUIS CARLOS ORIGA DE OLIVEIRA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM ENGENHARIA ELÉTRICA, Área: AUTOMAÇÃO, pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. LUIS CARLOS ORIGA DE OLIVEIRA  
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

  
Prof. Dr. JÚLIO BORGES DE SOUZA  
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

  
Prof. Dra. MARIANGELA CARVALHO BOVOLATO  
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

  
Prof. Dr. ARNULFO BARROSO DE VASCONCELLOS  
Departamento de Engenharia Elétrica / Universidade Federal de Mato Grosso

  
Prof. Dra. LUCIANE CLEONICE DURANTE  
Departamento de Arquitetura e Urbanismo / Universidade Federal de Mato Grosso

Data da realização: 06 de fevereiro de 2015.

## **DEDICATÓRIA**

A todos que acreditam e contribuem para a construção do  
MUNDO BEM MELHOR.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador professor Dr Luis Carlos Origa de Oliveira pela ajuda, apoio e incentivo desde o início desta jornada.

Aos professores Dr Júlio Borges de Souza e Dr Dionízio Paschoarelli Júnior pelas valiosas contribuições na fase da qualificação.

Aos professores Dr Júlio Borges de Souza, Dra Mariângela de Carvalho Bovolato, Dr Arnulfo Barroso de Vasconcellos, Dra Luciane Cleonice Durante, Dra Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira e Dr Fernando Nogueira de Lima por participarem da banca examinadora, contribuindo para a melhoria da versão final desta tese.

Aos professores Dr Rubén Augusto Romero Lázaro, Dr Tony Inácio da Silva e Dr José Carlos de Oliveira pela confiança e incentivo decisivos.

Aos professores da UNESP que vieram a Cuiabá, pelo conhecimento, exemplo e incentivo.

Aos colaboradores da UNESP pela ajuda em momentos decisivos.

Aos colegas do doutorado pelo fundamental apoio mútuo ao longo do caminho trilhado.

Aos companheiros do Laboratório de Conforto da UFMT pelo apoio, companheirismo e disponibilidade dos equipamentos de medição, na pessoa da professora Dra Luciane Cleonice Durante, do professor Dr Ivan Júlio Apolônio Callejas e da Manuela Toniazzo.

Aos companheiros do Laboratório de Qualidade de Energia Elétrica da UFMT, pela ajuda e incentivo, na pessoa do professor Dr Arnulfo Barroso de Vasconcellos, da professora PhD Teresa Irene Ribeiro de Carvalho e da professora MSc Luciana Oliveira da Silva Lima.

À Caixa Econômica Federal, na pessoa da professora MSc Kátia Barcellos, pelas informações.

À Construtora Lúmen e seus colaboradores, pelo apoio durante as medições de campo na pessoa do senhor Clodoaldo Pavinato.

Ao amigo Fernando Gadenz por toda ajuda em várias fases desta jornada.

À AGER/MT por possibilitar esta experiência.

Aos amigos da ANEEL José Jurhosa Júnior e Antônio Cláudio Erthal, pelo apoio e incentivo.

À FAPEMAT pelo incentivo para realização desta pesquisa, por meio de Edital Universal.

Ao meu Criador pelo que sou!  
Aos meus avós pela Luz que vem de lá!  
Aos meus pais Emídio&Con pela Vida e tudo que ela contém!  
Ao MeuBem pelo apoio amoroso e aconchego!  
Aos meus irmãos Dinho&Neca&Crys&Érico&Rapha&Leíse por serem parte de  
mim!  
Aos raios de sol em minha vida: Emidinho, Lavínia, Bernardo e Amorzinho!  
À Sra Márcia e ao Sr Hamilton pela torcida, paciência e incentivo!  
À família inteira pela torcida organizada sempre presente, mesmo à distância!  
Às minhas três fiéis companheiras, que nunca me permitiram a solidão nos  
momentos de isolamento!  
À querida amiga Teresa portuguesa pela confiança e decisão!  
Às queridas amigas Ane e Luciana por me mostrarem o que eu não conseguia ver...  
À Cooooon pelo amparo amoroso!  
À amiga Ana Maria pela redescoberta do BOM e do BELO!  
Aos anjos de guarda Dra Sônia, Dra Alexandra, Dr Osmar, Amaury, Ciça, Sione,  
dona Leila e senhor Dito, que cuidaram de minha saúde física, mental e emocional!  
Às minhas companheiras da MTmamma Amigos do Peito, por me guardarem em  
seus corações durante toda minha ausência, em nome da Deusa que corajosa e  
resignadamente me substituiu na presidência!  
Aos meus companheiros de jornada da AGER que solidariamente me incentivaram,  
assumindo minhas funções profissionais!

## RESUMO

Ações de eficiência energética em edificações exigem análise interdisciplinar, capaz de contemplar a complexidade expressa pelas relações de produção do ambiente construído e habitabilidade. O objetivo geral desta pesquisa foi analisar o impacto da aplicação de estratégias bioclimáticas, na eficiência termoenergética de Habitações de Interesse Social (HIS). À partir de um objeto de estudo (HIS) localizado em Cuiabá-MT, as etapas metodológicas compreenderam a avaliação de desempenho térmico e de eficiência energética de três modelos: HIS padrão (HISp) e duas propostas mais eficientes denominados HISeT (com pintura de cor branca na cobertura) e HISeTPJ (com pintura de cor branca na cobertura e nas paredes externas, com alteração das janelas). Por meio de simulação computacional utilizando o EnergyPlus, obteve-se a projeção dos consumos de referência para 13.437 habitações construídas pelo Programa Minha Casa Minha Vida, em Cuiabá-Várzea Grande (período 2009-2013). Os resultados demonstram que o modelo HISeTPJ apresentou melhor desempenho termoenergético, possibilitando uma economia de energia equivalente ao atendimento de mais de 1.000UC, pelo período de um ano. Uma das contribuições deste trabalho foi apresentar uma sistemática para determinação das correlações entre as variações das temperaturas internas e dos consumos de energia elétrica de referência, em função de intervenções na envoltória. Verificou-se a redução de 10,85kWh e de 10,95kWh nos consumos de energia elétrica das HISeT e HISeTPJ, quando ocorrer a redução de 1°C na temperatura interna das mesmas. Este estudo de intervenções na envoltória constitui-se proposta inovadora e com viabilidade econômica demonstrada por meio de Relação Custo-Benefício de 0,38. Evidencia-se a importância de estudos interdisciplinares para definição de políticas públicas para eficiência energética e habitacionais.

**Palavras-chave:** Eficiência energética. Consumo de energia. *EnergyPlus*. Edificações residenciais.

## ABSTRACT

Energy efficiency actions require interdisciplinary analysis, able to contemplate the complexity expressed by environmental production relations built and habitability. The general purpose of this research was to analyze the impact of the application of bioclimatic strategies in thermoenergy efficiency of social housing (HIS). The research adopted a social housing (HIS) located in Cuiabá / MT as object of study, the methodological steps involved the evaluation of thermal performance and energy efficiency based on the Brazilian normative of three models: standard HIS (HISp), and two more efficient scenarios denominated HISeT (with thermal ink painting on the cover) and HISeTPJ (with paint on the cover and external walls, and windows changed). Through computational simulation using the EnergyPlus, was obtained projection of the reference consumptions for 13,437 housing built by Minha Casa Minha Vida, in Cuiabá-Várzea Grande (2009-2013). The results show that the model presented better HISeTPJ thermoenergetic performance, enabling energy savings equivalent service over 1.000UC for a period of one year. One of the contributions of this work was to present a system for determining the correlations between changes in internal temperatures and electric power reference consumption, due to interventions in the envelope.

It was found a reduction 10,95kWh and 10,85kWh on the electric power consumptions of HISeT and HISeTPJ, when it occurs a 1 ° C decrease in internal temperature of the same.

This study interventions in the envelope constitutes innovative proposal and economic viability demonstrated through Cost-Benefit 0.38. It's evident the importance of interdisciplinary studies for definition of public policies for energy efficiency and housing.

**Keywords :** Energy efficiency. Energy consumption. EnergyPlus. Residential buildings.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Histórico de consumo anual de energia elétrica per capita.....                         | 22 |
| Figura 2 – Consumo anual do Brasil (GWh) – 1997 a 2013 .....                                      | 23 |
| Figura 3 - Matriz energética do Brasil - 2013 .....   | 23 |
| Figura 4 - Consumo de energia elétrica por Região Geográfica - ano 2012 .....                     | 24 |
| Figura 5 – Divisão do Território do Brasil em Subistemas .....                                    | 30 |
| Figura 6 - Bandeiras tarifárias no ano teste 2014.....  | 32 |
| Figura 7 - Evolução da venda de energia e da quantidade de consumidores .....                     | 32 |
| Figura 8 - Perfil da distribuição de energia elétrica em 2013.....                                | 34 |
| Figura 9 - Perfil do número de consumidores em 2013 .....   | 34 |
| Figura 10 – Evolução: Renda per capita e % de domicílios com energia elétrica - 1991 a 2010 ..... | 35 |
| Figura 11 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....   | 41 |
| Figura 12 - Esquema Geral das Simulações .....  | 45 |
| Figura 13 - Objeto de estudo .....  | 46 |
| Figura 14 - Planta baixa do objeto de estudo.....   | 46 |
| Figura 15 - Sistema de Vedação Vertical Externa.....  | 47 |
| Figura 16 - Sistema de Cobertura.....   | 47 |
| Figura 17 - Situação das HIS monitoradas .....  | 48 |
| Figura 18 - Orientação de implantação das HIS.....  | 49 |
| Figura 19 - Calibração dos equipamentos antes da medição de campo .....                           | 50 |
| Figura 20 - Coeficiente de correlação linear da calibração dos equipamentos .....                 | 50 |
| Figura 21 - Equipamentos utilizados nas medições de campo .....                                   | 51 |
| Figura 22 - HIS modelada no Sketchup .....  | 52 |
| Figura 23 - Diagrama de dispersão e Coeficiente de correlação (sala-cozinha) .....                | 56 |
| Figura 24 - Diagrama de dispersão e Coeficiente de correlação (quarto 1) .....                    | 56 |
| Figura 25 - Diagrama de dispersão e Coeficiente de correlação (quarto 2) .....                    | 56 |
| Figura 26 – Orientação Norte .....  | 58 |
| Figura 27 - Orientação Leste .....  | 58 |
| Figura 28 - Orientação Sul .....  | 59 |
| Figura 29 - Orientação Oeste.....   | 59 |
| Figura 30 – $GH_R$ da HISp para as quatro orientações (N, S, L e O) .....                         | 79 |
| Figura 31 - Temperaturas externas e internas na sala-cozinha (HISp, HISeT e HISeTPJ).....         | 82 |
| Figura 32 - Temperaturas externas e internas no quarto1 (HISp, HISeT e HISeTPJ) .....             | 82 |
| Figura 33 - Temperaturas externas e internas no quarto 2 (HISp, HISeT e HISeTPJ) .....            | 83 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 34 - Temperaturas externas e internas nas HISp, HISeT e HISeTPJ .....                                       | 83 |
| Figura 35 – Ti.máx dos ambientes (das HISp, HISeT e HISeTPJ) e Te.máx (dia típico verão)84                         |    |
| Figura 36 - Ti.máx nas HISp, HISeT e HISeTPJ e Te.máx, (dia típico verão).....                                     | 85 |
| Figura 37 – Eficiência energética da envoltória dos ambientes das HISp, HISeT e HISeTPJ - GH <sub>R</sub> .....    | 86 |
| Figura 38 - Eficiência energética da envoltória das HISp, HISeT e HISeTPJ - GH <sub>R</sub> .....                  | 87 |
| Figura 39 - Classificação da envoltória dos ambientes condicionados artificialmente nas HISp, HISeT e HISeTPJ..... | 89 |
| Figura 40 - Comportamento das temperaturas internas e dos consumos de energia elétrica das HIS estudadas.....      | 90 |
| Figura 41 - Correlação Linear entre CMM(1-2) e TMM(1-2) .....  | 92 |
| Figura 42 - Correlação Linear entre CMM(1-3) e TMM(1-3) .....  | 92 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Grupo A.....   | 25 |
| Tabela 2 - Grupo B.....   | 25 |
| Tabela 3 - Esquema tarifário básico para as modalidades do Grupo A.....   | 28 |
| Tabela 4 - Esquema tarifário básico para as modalidades do Grupo B.....   | 29 |
| Tabela 5 - Variação da energia distribuída (GWh).....   | 33 |
| Tabela 6 - Aumento do número de consumidores 2012 - 2013.....   | 33 |
| Tabela 7 - Propriedades térmicas das paredes e da cobertura da HIS.....   | 47 |
| Tabela 8 - Dimensões e áreas efetivas de ventilação e iluminação das esquadrias.....  | 48 |
| Tabela 9 - Propriedades térmicas da cobertura da HISeT.....   | 60 |
| Tabela 10 - Consolidação dos Pré-Requisitos NBR 15.575 e RTQ-R.....   | 62 |
| Tabela 11 - Níveis de desempenho Mínimo, Intermediário e Superior.....  | 64 |
| Tabela 12 - Equivalente Numérico da Envoltória do Ambiente (NV) - ZB7.....  | 65 |
| Tabela 13 - Coeficientes da Equação de Pontuação do nível de eficiência energética.....   | 69 |
| Tabela 14 - Bonificações.....   | 70 |
| Tabela 15 - Classificação do nível de eficiência energética de acordo com a pontuação obtida.....   | 72 |
| Tabela 16 – Constantes de perda para $k = 0,15$ .....   | 78 |
| Tabela 17 - Avaliação dos requisitos.....   | 80 |
| Tabela 18 - Resultados da simulação ( $T_{i.máx}$ ) e avaliação do desempenho térmico.....  | 84 |
| Tabela 19 – Avaliação da eficiência energética.....   | 86 |
| Tabela 20 - Classificação da Eficiência Energética das HIS com parâmetros Centro-Oeste...   | 87 |
| Tabela 21 - Classificação da Eficiência Energética das HIS com parâmetros ajustados.....  | 88 |
| Tabela 22 - Resultados da simulação HVAC com parâmetros do RTQ-R.....   | 88 |
| Tabela 23 - Consumo relativo para refrigeração ( $C_R$ ) e Classificação da eficiência energética da envoltória de ambientes condicionados artificialmente..... | 89 |
| Tabela 24 - Variações percentuais do consumo de energia elétrica e da temperatura.....  | 91 |
| Tabela 25 - Quantidade de tinta.....  | 93 |
| Tabela 26 - Custo diretos.....  | 94 |
| Tabela 27 – Detalhamento de custos do projeto.....  | 94 |
| Tabela 28 - Metas: Redução de Demanda na Ponta (RDP) e Energia Anual Economizada (EE).....  | 95 |
| Tabela 29 - Dados da CEMAT: Energia e demanda requeridas - Ano 2013.....  | 96 |
| Tabela 30 - Constantes de perdas para $FC = 0,65$ .....   | 97 |

## LISTA DE ABREVIATURAS

|         |   |
|---------|---|
| HIS     | Habitação de Interesse Social   |
| HISp    | Habitação de Interesse Social Padrão  |
| HISeT   | Habitação de Interesse Social mais eficiente com pintura cor branca (no telhado)  |
| HISeTPJ | Habitação de Interesse Social mais eficiente com pintura cor branca (no telhado e na parede externa) e com alterações nas janelas |
| RTQ-R   | Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais.                               |
| PEI     | Pessoas, Equipamentos e Iluminação  |
| ZB      | Zona Bioclimática   |
| RCB     | Relação Custo-Benefício   |
| ANEEL   | Agência Nacional de Energia Elétrica  |
| PROCEL  | Programa nacional de conservação de energia elétrica  |
| PNEf    | Plano Nacional de Eficiência Energética   |
| PEE     | Programa de Eficiência Energética das Distribuidoras de Energia Elétrica  |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|               |   |
|---------------|---|
| $T_{BS}$      | Temperatura de bulbo seco (°C).   |
| CM            | Condições conforme medição.   |
| NV            | Condição naturalmente ventilada.  |
| VF            | Condição de ventilado por frestas.  |
| HVAC          | Condição condicionada artificialmente.  |
| GHR           | Graus Hora de Resfriamento.   |
| HISp          | Habitação de interesse social (HIS) padrão.   |
| HISeT         | Habitação de interesse social (HIS) com pintura na cobertura /telhado.  |
| HISeTPJ       | Habitação de interesse social (HIS) com pintura na cobertura e paredes externas, com alteração das janelas.   |
| CR            | Consumo relativo de energia elétrica.   |
| $\varepsilon$ | Emissividade (admissional).   |
| $T_o$         | Temperatura operativa horária (°C).   |
| $\alpha$      | Absortância solar (admissional).  |
| U             | Transmitância Térmica ( $W/m^2K$ ).   |
| CT            | Capacidade Térmica ( $J/m^2K$ ).  |
| $A_v$         | Percentual de abertura para ventilação em relação à área útil do ambiente de permanência prolongada (%), onde $A_v = (A_{vent} / A_u) \times 100$ .   |
| $A_{vent}$    | Área de abertura para ventilação ( $m^2$ ).   |
| $A_u$         | Área útil do ambiente ( $m^2$ ).  |
| $V_c$         | Ventilação cruzada (admissional), onde $V_c = (A_2 / A_1)$ .  |
| $A_1$         | Somatório das áreas efetivas de abertura para ventilação, localizadas na fachada da orientação com maior área de abertura para ventilação ( $m^2$ ), excluindo-se as portas de acesso principal e de serviço. |
| $A_2$         | Somatório das áreas efetivas de abertura para ventilação localizadas nas fachadas das demais orientações ( $m^2$ ), excluindo-se as portas de acesso principal e de serviço.                                  |
| $A_f$         | Percentual de aberturas que permitem fechamento em relação à quantidade de aberturas (%).   |
| $B_v$         | Percentual de banheiros com ventilação natural em relação a quantidade de banheiros com exceção dos lavabos (%).  |
| $A_i$         | Percentual de abertura para ventilação em relação à área útil do ambiente (%), onde $A_i = (A_{ilum} / A_u) \times 100$ .   |
| $A_{ilum}$    | Área de abertura para iluminação natural ( $m^2$ ).   |
| n.a           | Não se aplica.  |

|                              |   |
|------------------------------|---|
| M                            | Nível de desempenho Mínimo.   |
| I                            | Nível de desempenho Intermediário.                                      |
| S                            | Nível de desempenho Superior.   |
| Te.máx                       | Temperatura externa máxima no dia típico de verão (°C).                 |
| Ti.máx                       | Temperatura interna (nos ambientes) máxima no dia típico de verão (°C). |
| EqNumEnv                     | Equivalente Numérico da Envoltória da Habitação.                        |
| EqNumEnvAmb                  | Equivalente Numérico da Envoltória do Ambiente.                         |
| EqNumEnvAmb <sub>Resfr</sub> | Equivalente Numérico da Envoltória do Ambiente para Resfriamento.       |
| EqNumEnvAmb <sub>A</sub>     | Equivalente Numérico da Envoltória do Ambiente para Aquecimento.        |
| EqNumEnv <sub>Refrig</sub>   | Equivalente Numérico da Envoltória do Ambiente para Refrigeração.       |
| CMM                          | Consumo Mensal Médio (no ciclo de um ano).                              |
| TMM                          | Temperatura Mensal Média (no ciclo de um ano).                          |
| CMM%1-2                      | Varição percentual entre o CMM da HISp e a da HISeT.                    |
| CMM%1-3                      | Varição percentual entre o CMM da HISp e a da HISeTPJ.                  |
| TMM%1-2                      | Varição percentual entre o TMM da HISp e a da HISeT                     |
| TMM%1-3                      | Varição percentual entre o TMM da HISp e a da HISeTPJ                   |
| CA <sub>T</sub>              | Custo anualizado total (R\$/ano).                                       |
| CM-1                         | Consumo mensal representativo da HISp.                                  |
| CM-2                         | Consumo mensal representativo da HISeT.                                 |
| CM-3                         | Consumo mensal representativo da HISeTPJ.                               |
| PT <sub>HIS</sub>            | Pontuação total do nível de eficiência da HIS.                          |
| a                            | Coefficiente adotado de acordo com a região geográfica da HIS.          |
| b1                           | Bonificação referente à ventilação natural.                             |
| b2                           | Bonificação referente a à iluminação natural.                           |
| b3                           | Bonificação referente ao uso racional de água.                          |
| b4                           | Bonificação referente ao condicionamento artificial de ar.              |
| b5                           | Bonificação referente à iluminação artificial.                          |
| b6                           | Bonificação referente ventiladores de teto instalados.                  |
| b7                           | Bonificação referente refrigeradores instalados.                        |
| b8                           | Bonificação referente à medição individualizada.                        |
| BA <sub>T</sub>              | Benefício anualizado (R\$/ano).   |
| CA <sub>n</sub>              | Custo anualizado de cada equipamento incluindo custos                   |

|           |  |
|-----------|--|
|           | relacionados (mão de obra, etc.) (R\$/ano).  |
| $CE_n$    | Custo de cada equipamento (R\$).   |
| $CT$      | Custo total do projeto (R\$).  |
| $CE_T$    | Custo total em equipamentos (R\$).   |
| $FRC_u$   | Fator de recuperação do capital para “u” anos.   |
| $u$       | Vida útil dos equipamentos, em anos.   |
| $i$       | Taxa de desconto considerada.  |
| $EE$      | Energia anual economizada (MWh/ano).   |
| $CEE$     | Custo unitário da energia evitada (R\$/MWh).   |
| $RDP$     | Demanda evitada na ponta (kW/ano).   |
| $CED$     | Custo unitário evitado da demanda (R\$/kW ano).  |
| $C_1$     | Custo unitário da demanda no horário de ponta (R\$/kW.mês).  |
| $C_2$     | Custo unitário da demanda no horário fora de ponta (R\$/kW.mês).   |
| $LP$      | Constante de perda de demanda no posto fora de ponta, Considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta                         |
| $CEE$     | Custo Unitário Evitado de Energia (R\$/MWh).   |
| $C_p$     | Custo unitário da energia no horário de ponta na bandeira verde (R\$/MWh).   |
| $C_{fp}$  | Custo unitário da energia no horário fora de ponta na bandeira verde (R\$/MWh).  |
| $LE_p$    | Constante de perda de energia no posto de ponta considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta.                              |
| $LE_{fp}$ | Constante de perda de energia no posto de fora de ponta considerando 1kW de perda de demanda no horário fora de ponta.                 |
| $LE1$     | Constante de perda de energia no posto de ponta de períodos secos considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta.            |
| $LE2$     | Constante de perda de energia no posto de ponta de períodos úmidos considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta.           |
| $LE3$     | Constante de perda de energia no posto fora de ponta de períodos secos considerando 1kW de perda de demanda no horário fora de ponta.  |
| $LE4$     | Constante de perda de energia no posto fora de ponta de períodos úmidos considerando 1kW de perda de demanda no horário fora de ponta. |
| $F_p$     | Fator de perda.  |
| $k$       | Constante que varia tipicamente de 0,15 a 0,30.  |
| $FC$      | Fator de carga médio da distribuidora dos últimos 12 meses.  |



## SUMÁRIO

|                |  |           |
|----------------|--|-----------|
| <b>1</b>       | <b>INTRODUÇÃO.....</b>   | <b>17</b> |
| 1.1            | OBJETIVOS.....   | 19        |
| <b>1.1.1</b>   | <b>Objetivo geral.....</b>   | <b>19</b> |
| <b>1.1.2</b>   | <b>Objetivos específicos.....</b>  | <b>19</b> |
| 1.2            | ESTRUTURA DO TRABALHO.....   | 20        |
| <b>2</b>       | <b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>  | <b>21</b> |
| 2.1            | PANORAMA DO CONSUMO MUNDIAL.....   | 21        |
| 2.2            | PANORAMA NACIONAL.....   | 23        |
| <b>2.2.1</b>   | <b>Características do consumo do Brasil.....</b>   | <b>23</b> |
| <b>2.2.2</b>   | <b>Características do sistema tarifário do Brasil.....</b>   | <b>25</b> |
| <b>2.2.2.1</b> | <b><i>Classificação das unidades consumidoras.....</i></b>   | <b>25</b> |
| <b>2.2.2.2</b> | <b><i>Postos tarifários.....</i></b>   | <b>26</b> |
| <b>2.2.2.3</b> | <b><i>Modalidades tarifárias.....</i></b>  | <b>27</b> |
| <b>2.2.2.4</b> | <b><i>Sistema de bandeiras tarifárias de energia.....</i></b>  | <b>29</b> |
| 2.3            | CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DA DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - MATO GROSSO.....                                | 32        |
| 2.4            | EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: CONCEITUAÇÃO E HISTÓRICO.....   | 35        |
| 2.5            | PROJETOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E AS DISTRIBUIDORAS DE ENERGIA ELÉTRICA.....                                     | 37        |
| 2.6            | EFICIÊNCIA NAS EDIFICAÇÕES.....  | 38        |
| <b>2.6.1</b>   | <b>Zoneamento bioclimático.....</b>  | <b>40</b> |
| <b>2.6.2</b>   | <b>Regulamento técnico da qualidade do nível de eficiência energética de edificações residenciais (RTQ-R).....</b> | <b>41</b> |
| <b>2.6.3</b>   | <b>NBR 15.575 para avaliação de desempenho térmico de edificações residenciais.....</b>                            | <b>43</b> |
| <b>3</b>       | <b>METODOLOGIA E ESTRATÉGIA DE AÇÃO.....</b>   | <b>45</b> |
| 3.1            | LOCAL DA PESQUISA E OBJETO DE ESTUDO.....  | 46        |
| 3.2            | REALIZAÇÃO DAS MEDIÇÕES.....   | 48        |
| 3.3            | MODELAGEM NO SKETCHUP.....   | 51        |
| 3.4            | INSERÇÃO DOS DADOS NO <i>ENERGY PLUS</i> .....   | 52        |
| 3.5            | CALIBRAÇÃO DO MODELO.....  | 54        |
| <b>3.5.1</b>   | <b>Simulações para fins de calibração do modelo.....</b>   | <b>54</b> |
| <b>3.5.2</b>   | <b>Análise estatística de regressão linear – coeficiente de regressão linear.....</b>                              | <b>55</b> |
| 3.6            | ORIENTAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO.....  | 57        |
| <b>3.6.1</b>   | <b>Simulação para definição da orientação do objeto de estudo.....</b>   | <b>57</b> |
| 3.7            | PROPOSTAS DE INTERVENÇÕES.....   | 60        |
| <b>3.7.1</b>   | <b>Pintura na cobertura/telhado (HISeT).....</b>   | <b>60</b> |
| <b>3.7.2</b>   | <b>Pintura (cobertura e paredes externas) e alteração das janelas (HISeTPJ).....</b>                               | <b>60</b> |
| 3.8            | AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DA HIS.....  | 61        |
| <b>3.8.1</b>   | <b>RTQ-R.....</b>  | <b>61</b> |
| <b>3.8.2</b>   | <b>NBR15.575.....</b>  | <b>61</b> |
| <b>3.8.3</b>   | <b>Pré-Requisitos estabelecidos no RTQ-R e na NBR 15.575.....</b>  | <b>62</b> |
| <b>3.8.4</b>   | <b>Simulação para avaliação da HISp, HISeT e HISeTPJ.....</b>  | <b>63</b> |
| <b>3.8.4.1</b> | <b><i>Desempenho térmico da HIS - temperatura interna máxima do dia típico de verão.....</i></b>                   | <b>63</b> |
| <b>3.8.4.2</b> | <b><i>Eficiência energética da HIS quando naturalmente ventilada (NV).....</i></b>                                 | <b>65</b> |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 3.8.4.3 | <i>Eficiência energética da HIS quando condicionada artificialmente (HVAC) e projeção de economia para habitações do PMCMV</i> ..... | 66  |
| 3.8.5   | <b>Classificação final da HISp , HISeT e HISeTPJ</b> .....   | 69  |
| 3.9     | CORRELAÇÃO ENTRE CONSUMO DE ENERGIA E TEMPERATURA INTERNA.....   | 72  |
| 3.10    | RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO (RCB).....   | 73  |
| 3.10.1  | <b>Custos anualizados (CA<sub>T</sub>)</b> .....   | 74  |
| 3.10.2  | <b>Benefícios anualizados (BA<sub>T</sub>)</b> .....   | 76  |
| 4       | <b>RESULTADOS</b> .....  | 79  |
| 4.1     | EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA - ORIENTAÇÃO DE IMPLANTAÇÃO.....   | 79  |
| 4.2     | ATENDIMENTO DOS REQUISITOS DAS 15.575-4, 15.575-5 E RTQ-R.....   | 79  |
| 4.3     | DESEMPENHO TÉRMICO À LUZ DA NBR 15.575-1 - MÉTODO DE SIMULAÇÃO.....  | 81  |
| 4.4     | CLASSIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA HIS .....  | 85  |
| 4.4.1   | <b>Eficiência energética da envoltória pelo GH<sub>R</sub> – simulação</b> .....   | 85  |
| 4.4.2   | <b>Classificação da HIS segundo o RTQ-R</b> .....  | 87  |
| 4.5     | EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA PELO C <sub>R</sub> E PROJEÇÃO DE ECONOMIA DE ENERGIA PARA PMCMV.....                            | 88  |
| 4.6     | CORRELAÇÃO ENTRE A VARIAÇÃO DA TEMPERATURA INTERNA E DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.....   | 90  |
| 4.7     | RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO (RCB).....   | 93  |
| 4.7.1   | <b>RCB da HISeT em relação à HISp</b> .....  | 93  |
| 4.7.1.1 | <i>Cálculo dos custos anualizados (CA<sub>T</sub>)</i> .....   | 93  |
| 4.7.1.2 | <i>Cálculo dos benefícios anualizados (BA<sub>T</sub>)</i> .....   | 95  |
| 5       | <b>CONCLUSÃO</b> .....   | 98  |
| 5.1     | TRABALHOS FUTUROS.....   | 101 |
|         | <b>REFERÊNCIAS</b> .....   | 102 |
|         | <b>APÊNDICE A: DADOS DE ENTRADA NO ENERGYPLUS</b> .....  | 111 |
|         | <b>APÊNDICE B: CÁLCULO DA TEMPERATURA SOLO UTILIZANDO SLAB</b> .....   | 135 |

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a temática do aquecimento global passou a fazer parte da agenda dos governos e tornou-se uma preocupação crescente para as empresas e cidadãos. Programas que visam racionalizar o consumo de energia, água e o volume de resíduos, reduzem o impacto no meio ambiente, limitam o risco de interrupção do fornecimento de energia ou água e ampliam a vida útil de fontes de energia não-renováveis. Tais programas também podem influenciar a demanda de energia elétrica e, conseqüentemente, o montante de investimento na ampliação da geração e transmissão de energia elétrica.

Considerando que investimentos em eficiência energética de edificações, além de oferecer benefícios financeiros, também proporcionam benefícios ambientais, muitos países vêm estabelecendo políticas públicas que visem o aumento da eficiência das suas edificações.

Nos EUA, as normas de eficiência são usadas há cerca de 30 anos. Em Portugal e na Holanda, diretrizes de eficiência energética em edificações são adotadas desde 1991 e 1995, respectivamente (EUROPEAN PARLIAMENT, 2013).

Foi com base nesse contexto que, em 2010, a União Europeia estabeleceu diretrizes da política de uso eficiente de energia numa economia de baixo consumo, mais segura, competitiva e sustentável (EUROPEAN PARLIAMENT, 2010). Dessa forma, diversos países implantaram sistemas de certificação energética que informam aos cidadãos sobre a qualidade térmica dos edifícios quando de suas construções, vendas ou locações, permitindo aos futuros usuários o conhecimento de informações sobre o consumo de energia.

O Brasil tem adotado iniciativas importantes com o objetivo de incentivar o uso eficiente de energia elétrica. Uma delas é a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia que, em 2001, estabeleceu a criação de mecanismos que resultem em edificações mais eficientes, bem como, níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País (BRASIL, 2001a, 2001b).

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) lançou, em 2003, o PROCEL-Edifica (Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações) que visa construir as bases necessárias para racionalizar o consumo de energia de edificações no Brasil, por meio de ações, dentre as quais, destacam-se o fomento às pesquisas e a implementação de etiquetagem em edificações (BRASIL, 2011a, 2011b). Este Programa estabelece, em sua vertente Habitações e Eficiência Energética, os objetivos de (i) fomentar estudos, pesquisas e ações para promover melhoria dos prédios e habitações, principalmente

as de Baixa Renda e (ii) implementar a etiquetagem das edificações residenciais viabilizadas por meio de programas habitacionais governamentais.

Dentre as diretrizes e premissas básicas citadas pelo Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) (BRASIL, 2011a), destaca-se a necessidade de promoção de integração entre as políticas habitacional e energética para edificações, bem como a importância do estímulo à inserção de conceitos de eficiência energética em edificações em projetos de interesse social financiados por agentes dos governos federal, estaduais e municipais.

Considerando que o acesso à moradia constitui-se direito universal dos cidadãos, o poder público também definiu em 2004, a Política Nacional de Habitação cujo objetivo é promover acesso à moradia a todos os segmentos da população, especialmente ao de baixa renda. Esta Política prevê diretrizes voltadas para a sustentabilidade do ambiente construído e aplicação de padrões mínimos de conforto ambiental, dentre outros aspectos (BRASIL, 2004).

Não obstante estas iniciativas, estudos recentes demonstram que, em relação às condições de qualidade habitacional, os empreendimentos brasileiros não representam avanços significativos nesse sentido em função massificação na produção de moradias, desconsiderando aspectos importantes como as características do clima e as técnicas e materiais adequados às realidades dos locais (ROTTA, 2009).

Atualmente, o setor residencial representa uma fatia de 24,2% do consumo de energia elétrica nacional e teve crescimento de 6,2% nos últimos cinco anos (BEN, 2014), influenciado pelo aumento do poder aquisitivo devido à estabilidade econômica do país e à implantação de novos conjuntos habitacionais, dentre outros aspectos.

Neste contexto, torna-se fundamental que se realizem estudos e pesquisas que confrontem a realidade existente com as metodologias recomendadas pelas normas e os impactos na conservação de energia elétrica. Justifica-se assim, pensar nos elementos bioclimáticos que podem ser introduzidos para melhorar o conforto e a eficiência energética das Habitações de Interesse Social (HIS), tornando-as favoráveis quanto aos aspectos de habitabilidade, garantindo o mínimo de conforto e sustentabilidade aos empreendimentos.

O problema das condições ambientais das habitações de interesse social em Cuiabá é ampliado, haja vista o rigor climático que se apresenta, com altas temperaturas durante o ano todo que torna os ambientes desconfortáveis e até mesmo insalubres, sendo necessário aumentando do consumo de energia elétrica para fins de melhoria dessas condições ambientais.

Esta pesquisa pretende fornecer informações para a otimização de projetos para HIS do ponto de vista das possibilidades de avaliação de desempenho termoenergético das

soluções arquitetônicas propostas e o reflexo direto das mesmas no consumo de energia elétrica. O estabelecimento de uma sistemática para determinação da correlação entre as variações da temperatura interna e do consumo de energia elétrica, em função das intervenções na envoltória é uma das contribuições deste trabalho, podendo ser generalizada, adaptada e aplicada a outros setores, em trabalhos futuros.

De forma inovadora no contexto de projetos no âmbito do Programa de Eficiência Energética das concessionárias de distribuição de energia elétrica, este estudo avalia uma proposta interdisciplinar, identificando o impacto de intervenções na envoltória de uma habitação sobre o consumo e a demanda de energia elétrica, através do cálculo da Relação Custo-Benefício estabelecido pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.

Considerando a abrangência e as interfaces das temáticas destaca-se o ineditismo deste estudo considerando que as discussões acerca do tema são incipientes a nível regional e nacional.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Esta pesquisa tem por objetivo geral analisar o impacto da aplicação de estratégias bioclimáticas, na eficiência termoenergética de habitações de interesse social.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

A formulação dos objetivos específicos desta pesquisa é norteadada pela abordagem das ações de eficiência energética, que exigem análise interdisciplinar capaz de contemplar a complexidade da sustentabilidade, expressa pelas relações de produção do ambiente construído – habitabilidade – eficiência energética. Assim, relaciona-se a seguir três objetivos específicos:

a) Classificar a eficiência energética da envoltória da edificação em função da orientação geográfica de implantação;

b) Identificar a classificação de eficiência energética e o desempenho térmico para as tipologias estudadas de HIS;

c) Avaliar o impacto no consumo de energia elétrica ativa e na demanda de potência ativa, em função de variações de tipologias de envoltória;

d) Estabelecer sistemática para obtenção da relação entre ganho de eficiência energética (em termos de consumo de referência de energia) e a diminuição de temperatura interna dos ambientes, em função da variação das tipologias estudadas;

e) Estimar projeção de redução do consumo de energia elétrica, em função de variações de tipologias de envoltória, nas HIS construídas pelo Programa Minha Casa Minha Vida, em Cuiabá entre os anos de 2009 e 2013;

f) Avaliar a Relação Custo-Benefício considerando-se os custos para implementação da alteração da envoltória e os benefícios em termos de economia do consumo de energia elétrica e da redução da demanda.

## **1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Este trabalho é composto por seis capítulos que discorrem sobre a temática em questão.

No Capítulo 1, Introdução, apresenta-se a problemática da eficiência energética das edificações, contextualizando desde o panorama mundial até a realidade das habitações de interesse social no cenário de Cuiabá/MT.

O Capítulo 2, Referencial Teórico, fornece os aportes teóricos e normativos que dão suporte à análise das variáveis estudadas, sendo o método de obtenção das mesmas abordadas no Capítulo 3, Metodologia e Estratégia de Ação. O detalhamento de duas etapas metodológicas é destacado nos Apêndices A e B, fornecendo subsídios para elaboração de estudos futuros.

Os resultados são apresentados de forma consolidada no Capítulo 4, Resultados, de acordo com os objetivos específicos definidos, sendo analisados de forma conclusiva no Capítulo 5, Conclusão.

A referência bibliográfica citada é relacionada no Capítulo 6, Referências Bibliográficas.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

O desempenho térmico e energético de uma edificação resulta da interação entre o ganho de calor interno devido à ocupação, à atividade desenvolvida e aos equipamentos em uso. Além disso, depende das características dos elementos e materiais que compõem a envoltória, assim como do ganho de calor externo por meio da circulação do ar pelos ambientes.

O presente capítulo consiste de revisão da literatura e de normas, abordando-se o estado da arte relativo à questão do desempenho termoenergético de edificações.

São inseridos temas relacionados à eficiência energética e arquitetura bioclimática, relacionando-os às ações do Estado Brasileiro demonstrando a relevância e atualidade do tema. Em acréscimo, são apresentadas informações sobre Zoneamento Bioclimático Brasileiro situando-se o local de estudo – Cuiabá/MT nesse contexto.

### **2.1 PANORAMA DO CONSUMO MUNDIAL**

A energia elétrica é um bem fundamental da sociedade moderna, e o seu consumo é um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e do nível de qualidade de vida. O seu crescimento retrata a capacidade da população para adquirir bens e serviços (que exigem acesso à rede elétrica e pressionam o consumo de energia elétrica), bem como, ritmo de atividade dos setores industrial, comercial e de serviços (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, 2008).

Historicamente, os países desenvolvidos que compõem a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) são os maiores consumidores mundiais de energia. Sua participação no total mundial, porém, tem recuado ao longo do tempo. Por outro lado, os países em desenvolvimento têm registrado aumento acentuado nas últimas décadas, mesmo tendo participação relativa pouco expressiva.

A ANEEL (2008) afirma que nos países que compõem o primeiro grupo, nos quais as sociedades são mais estruturadas e suas economias são relativamente mais estáveis, a maior parte da população adquiriu bens, tais como, automóveis, eletrodomésticos e eletroeletrônicos ao longo da segunda metade do século XX. Com maior frequência, esses países desenvolvidos tendem a utilizar equipamentos energeticamente eficientes na produção industrial que, ao longo do tempo, passaram a requerer menor consumo de energia para sua operação. As variações do consumo de energia, portanto, são mais suaves, mesmo com o crescimento da economia.

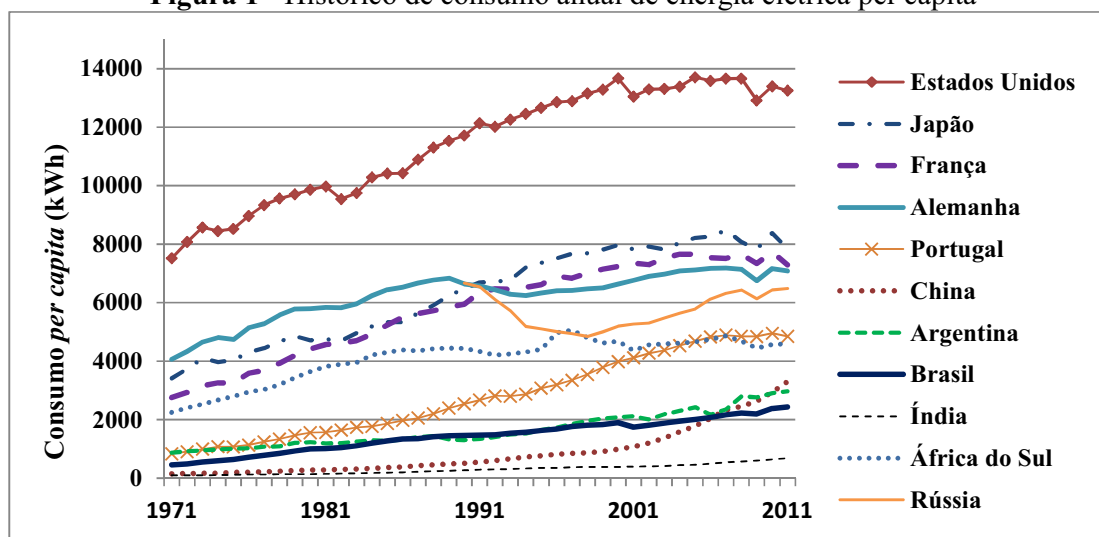
Os países em desenvolvimento estão mais sujeitos a bruscas reversões de tendências na economia, seja pela política econômica interna restritiva, seja pela grande dependência do capital internacional. A partir dos anos 90, houve ciclos de expansão em de função de investimentos originários das nações desenvolvidas em países, tais como, Brasil e Chile. As economias da China e da Rússia, também foram favorecidas em função da liberalização dos regimes comunistas.

Além disso, esses países costumam apresentar variações do consumo de energia bem mais acentuadas que o crescimento do PIB em função de fatores como demanda reprimida por eletrodomésticos, eletroeletrônicos e automóveis, e a existência de uma forte economia informal (com atividades sem registro e, portanto, sem a correspondente influência no PIB).

Os chamados membros do BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul), têm apresentado crescimento ininterrupto de consumo desde 2001.

O consumo de eletricidade anual *per capita* (por pessoa), de dez importantes economias mundiais, incluindo o Brasil, desde o ano de 1971 até 2011, é ilustrado na Figura 1

**Figura 1** - Histórico de consumo anual de energia elétrica per capita



Fonte: Banco Mundial (2014).

Os Estados Unidos se mantém na liderança, com um elevado consumo anual per capita, entretanto, assim como na França e na Alemanha, o consumo recuou de 2006 em diante. O Brasil, apesar do crescente consumo anual per capita, perdeu sua posição para a China, país superpopuloso e que tem expandido seu consumo energético devido à industrialização em ampliação e desenvolvimento do país (Figura 1).

## 2.2 PANORAMA NACIONAL

### 2.2.1 Características do consumo do Brasil

O consumo anual de energia elétrica no Brasil vem aumentando nos últimos anos segundo a Figura 2, sendo verificada a tendência de crescimento ano a ano (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE, 2014a).

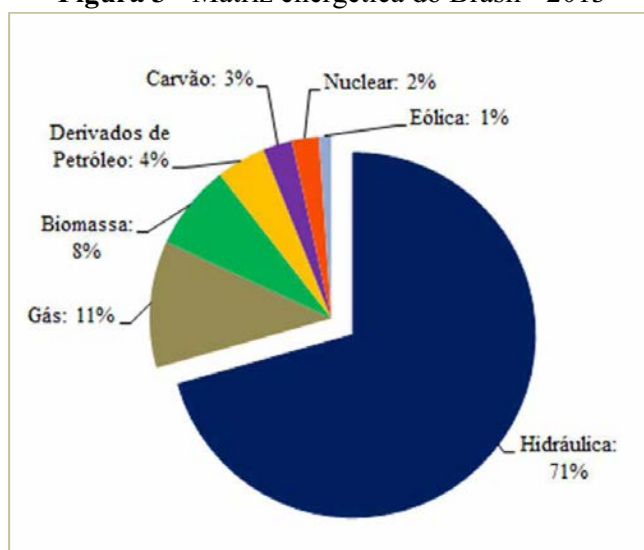
**Figura 2** – Consumo anual do Brasil (GWh) – 1997 a 2013



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2014a).

A Figura 3 apresenta a estrutura da matriz energética do Brasil em 2013, com destaque para a geração hidráulica responsável por 71% dos 609,9 TWh de energia gerada no referido ano, segundo dados do BEN 2014 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE, 2014b).

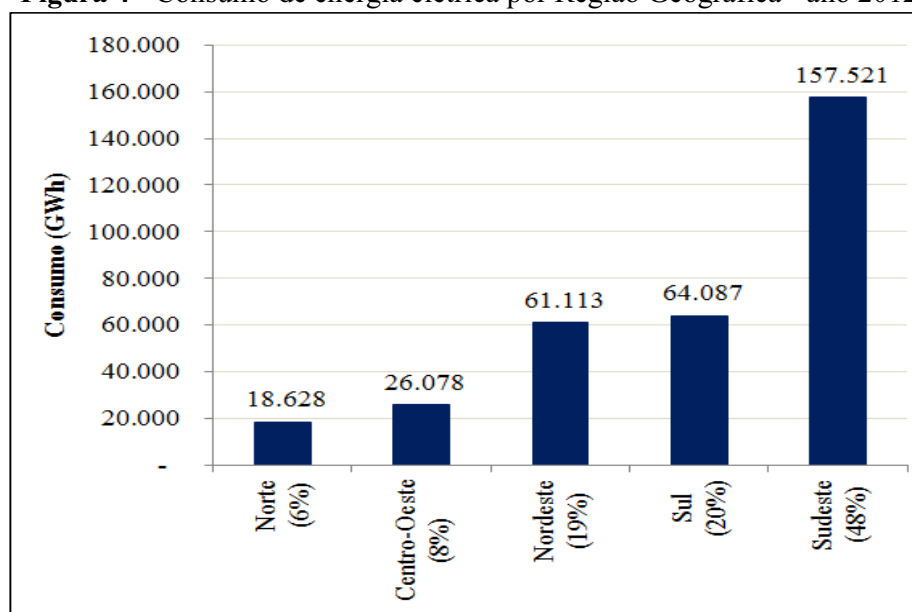
**Figura 3** - Matriz energética do Brasil - 2013



Fonte: EPE (2014b)

Em função das diversidades regionais, tais como clima, dimensão territorial, densidade demográfica e nível de industrialização, o consumo dessa energia é distribuído de maneira não uniforme para as regiões geográficas do Brasil, conforme Figura 4. A região sudeste é a que mais requer energia do sistema, tendo utilizado 48% do total distribuído em 2012. A região Centro-Oeste, por sua vez, representa 8% do consumo nacional.

**Figura 4 - Consumo de energia elétrica por Região Geográfica - ano 2012**



Fonte: EPE (2013).

O consumo de energia elétrica no Brasil, no setor residencial em 2013, representou uma fatia de 27% do consumo nacional e teve crescimento de cerca de 6% nos últimos cinco anos (EPE, 2014a).

As Centrais Elétricas Brasileiras S/A – ELETROBRÁS, por meio do PROCEL, realizou em 2005 uma pesquisa de âmbito nacional sobre Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso - Classe Residencial (CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S/A - ELETROBRÁS, 2007). O consumo final na carga residencial, na região Centro-Oeste, apresentou maior participação do chuveiro elétrico (28%), seguido pelos refrigeradores (24%) e dos condicionadores de ar (18%).

Mesmo com uma contribuição baixa para a média nacional, o consumo de eletricidade em condicionadores de ar se mostra expressivo em regiões onde as temperaturas médias são mais elevadas e/ou que apresentam maior renda per capita (ELETROBRÁS, 2007).

## 2.2.2 Características do sistema tarifário do Brasil

### 2.2.2.1 Classificação das Unidades Consumidoras

Cada unidade consumidora de energia elétrica apresenta custos específicos de operação, manutenção e expansão aos sistemas de distribuição e transmissão, em função de sua localização e das características de uso da rede, em especial quanto ao horário do uso. Em função da inviabilidade de cálculo de tarifas individuais, as definições das mesmas são realizadas em grupos, buscando-se um custo equivalente à representatividade do grupo.

No Brasil, para o estabelecimento dos agrupamentos tarifários, denominados grupos e subgrupos tarifários, adotou-se o nível de tensão de alimentação como critério para o agrupamento de consumidores (BRASIL, 2010), sendo:

- a) Grupo A: consumidores ligados em tensão igual ou superior a 2,3kV;
- b) Grupo B: consumidores ligados em tensão inferior a 2,3kV.

As subdivisões do Grupo A e do Grupo B constam da Tabela 1 e da Tabela 2.

**Tabela 1 - Grupo A**

| Subgrupo            | Atendimento em tensão:                        |
|---------------------|---|
| <b>Subgrupo A1</b>  | <b>igual ou superior a 230kV</b>              |
| <b>Subgrupo A2</b>  | <b>entre 88kV e 138kV</b>                     |
| <b>Subgrupo A3</b>  | <b>igual a 69kV</b>                           |
| <b>Subgrupo A3a</b> | <b>entre 30 e 44kV</b>                        |
| <b>Subgrupo A4</b>  | <b>entre 2,3 e 25kV</b>                       |
| <b>Subgrupo AS</b>  | <b>inferior a 2,3kV (sistema subterrâneo)</b> |

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2010).

**Tabela 2 - Grupo B**

| Subgrupo           | Atendimento:              |
|--------------------|---------------------------|
| <b>Subgrupo B1</b> | <b>Residencial</b>        |
| <b>Subgrupo B2</b> | <b>Rural</b>              |
| <b>Subgrupo B3</b> | <b>Demais classes</b>     |
| <b>Subgrupo B4</b> | <b>Iluminação pública</b> |

Fonte: ANEEL (2010).

As unidades consumidoras são classificadas de acordo com a atividade nela exercida e a finalidade da utilização da energia elétrica, obedecendo à divisão estabelecida pela ANEEL (2010), conforme ilustrada na Tabela 3.

**Tabela 3** – Classificação das unidades consumidoras

| <b>Classes</b>     | <b>Subclasses</b>   |
|--------------------|---|
| Residencial        | Residencial<br>Residencial baixa renda<br>Residencial baixa renda indígena<br>Residencial baixa renda quilombola<br>Residencial baixa renda benefício de prestação continuada da assistência social BPC<br>Residencial baixa renda multifamiliar  |
| Industrial         | Não se aplica   |
| Comercial          | Comercial<br>Serviços de transporte, exceto tração elétrica<br>Serviços de comunicações e telecomunicações<br>Associação e entidades filantrópicas<br>Templos religiosos<br>Administração condominial<br>Iluminação em rodovias<br>Semáforos, radares e câmeras de monitoramento de trânsito<br>Outros serviços e outras atividades |
| Rural              | Agropecuária rural<br>Agropecuária urbana<br>Residencial rural<br>Cooperativa de eletrificação rural<br>Agroindustrial<br>Serviço público de irrigação rural<br>Escola agrotécnica<br>Aqüicultura   |
| Poder público      | Poder público federal<br>Poder público estadual ou distrital<br>Poder público municipal   |
| Iluminação pública | Não se aplica   |
| Serviço público    | Tração elétrica<br>Água, esgoto e saneamento  |
| Consumo próprio    | Não se aplica   |

Fonte: ANEEL (2010).

#### **2.2.2.2 Postos Tarifários**

Como a infraestrutura de redes de energia elétrica é dimensionada para o atendimento das solicitações máximas dos consumidores, nos períodos de maior carregamento do sistema os custos são maiores do que nos de menor carregamento. Com a intenção de atenuar a carga no horário de pico, foram criados os postos tarifários, que são utilizados para sinalizar o uso

adequado do sistema e alocar aos consumidores de maior impacto, custos de acesso e utilização dos sistemas mais elevados.

Atualmente, são empregados três postos tarifários (Tabela 4 e Tabela 5), cujas definições são as seguintes (ANEEL, 2010):

a) ponta: período composto por 3 (três) horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora, considerando a curva de carga de seu sistema elétrico aprovado pela ANEEL para toda a área de concessão ou permissão, com exceção feita aos sábados, domingos, terça-feira de carnaval, sexta-feira da Paixão, Corpus Christi e feriados nacionais estabelecidos;

b) intermediário: período de horas conjugado ao posto tarifário ponta, sendo uma hora imediatamente anterior e outra imediatamente posterior;

c) fora de ponta: período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas nos postos ponta (Grupo A) e, para intermediário (Grupo B).

### **2.2.2.3 Modalidades Tarifárias**

As modalidades tarifárias disponíveis às unidades consumidoras enquadradas no Grupo A, conforme a Tabela 4 são:

a) Modalidade tarifária convencional binômica: aplicada às unidades consumidoras do grupo A, caracterizada por tarifas de consumo de energia elétrica e demanda de potência, independentemente das horas de utilização do dia;

b) Modalidade tarifária horária verde: aplicada às unidades consumidoras do grupo A, caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia, assim como de uma única tarifa de demanda de potência;

c) Modalidade tarifária horária azul: aplicada às unidades consumidoras do grupo A, caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia.

**Tabela 4 - Esquema tarifário básico para as modalidades do Grupo A**

| <b>Grupo</b> | <b>Características de fornecimento da UC</b>  | <b>Modalidade Tarifária</b> | <b>Tarifas</b>                    | <b>Postos Tarifários</b>                             |
|--------------|---|-----------------------------|-----------------------------------|--|
| A            | tensão <69kV<br>demanda <150kW  | Convencional binômia        | Consumo (MWh)<br>Demanda (kW)     | Não se aplica<br>Não se aplica                       |
|              | tensão <69kV<br>demanda <300kW <sup>(1)</sup><br><br>tensão < 69kV e<br>demanda ≥ 300kW <sup>(2)</sup>                      | Horária Verde               | Consumo (MWh)<br><br>Demanda (kW) | Ponta<br>Fora de Ponta<br>Não se aplica              |
|              | tensão <69kV<br>demanda <300kW <sup>(1)</sup><br><br>tensão < 69kV e<br>demanda ≥ 300kW <sup>(2)</sup><br><br>tensão ≥ 69kV | Horária Azul                | Consumo (MWh)<br><br>Demanda (kW) | Ponta<br>Fora de Ponta<br><br>Ponta<br>Fora de Ponta |

(1): por opção do consumidor (do Grupo A) entre a Modalidade Tarifária convencional binômia, Horária Verde e Horária Azul;

(2): opção do consumidor (do Grupo A) entre Modalidade Tarifária Horária Verde e Horária Azul

Fonte: ANEEL (2010).

As modalidades tarifárias disponíveis às unidades consumidoras enquadradas no Grupo B, conforme a Tabela 5, são:

a) Modalidade tarifária convencional monômia: aplicada às unidades consumidoras do grupo B, caracterizada por tarifas de consumo de energia elétrica, independentemente das horas de utilização do dia;

b) Modalidade tarifária horária branca: aplicada às unidades consumidoras do grupo B, exceto para o subgrupo B4 e para as subclasses Baixa Renda do subgrupo B1, caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia.

**Tabela 5** - Esquema tarifário básico para as modalidades do Grupo B

| <b>Grupo</b> | <b>Atendimento</b>   | <b>Modalidade Tarifária</b> | <b>Tarifas</b> | <b>Postos Tarifários</b>                |
|--------------|--|-----------------------------|----------------|---|
| B            | de forma compulsória e automática para todas as UC do Grupo B  | Convencional monômnia       | Consumo (MWh)  | Não se aplica                           |
|              | por opção do consumidor, aplicadas às UC do grupo B (exceto às pertencentes ao subgrupo B4 e à subclasse Baixa Renda do subgrupo B1) | Horária Branca              | Consumo (MWh)  | Ponta<br>Intermediário<br>Fora de Ponta |

Fonte: ANEEL (2010).

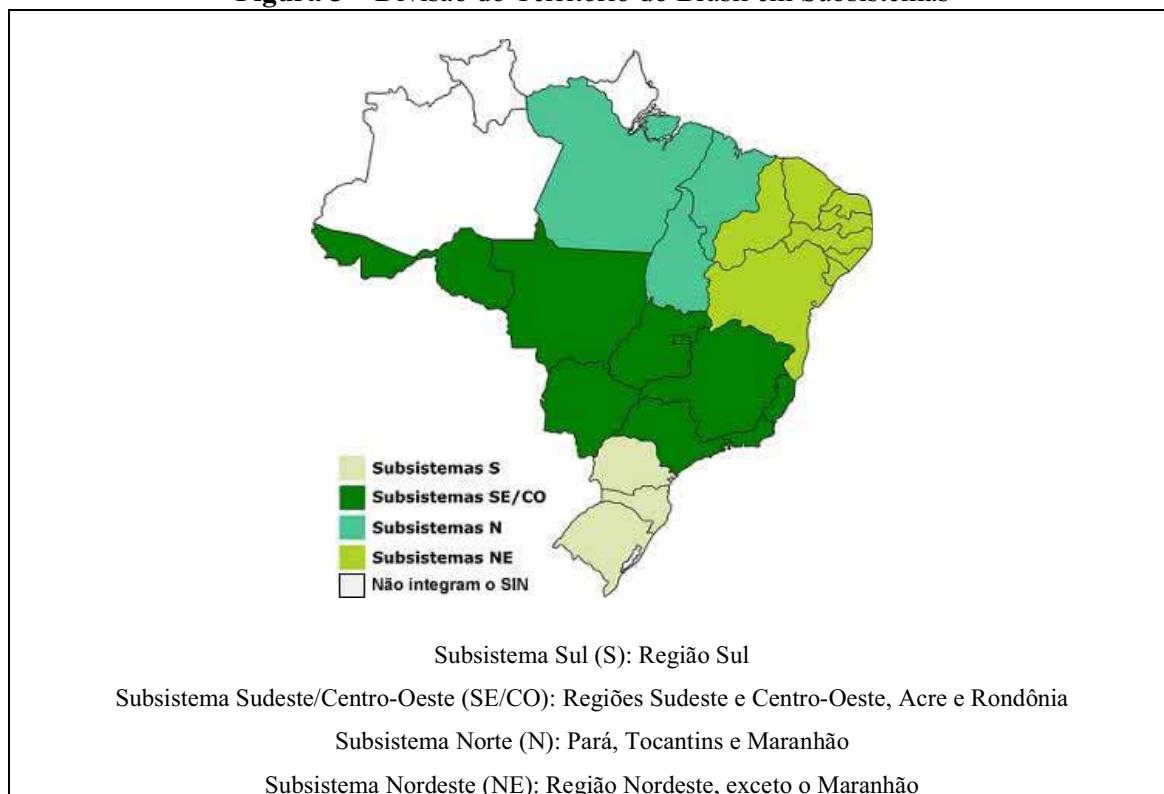
A diferenciação tarifária busca incentivar o deslocamento de parte da carga para os horários em que o sistema elétrico estiver menos carregado e racionalizar o consumo de energia para períodos do ano em que existir menor disponibilidade de água nos reservatórios das usinas.

#### **2.2.2.4 Sistema de Bandeiras Tarifárias de Energia**

Aprovado pela Resolução Normativa nº 435/2011 (ANEEL, 2011), os Procedimentos de Regulação Tarifária (PRORET) têm caráter normativo e consolida a regulamentação acerca dos processos tarifários, propondo uma nova estrutura tarifária a entrar em vigor a partir de 2015.

Assim, as faturas de energia contarão com o Sistema de Bandeiras Tarifárias, onde as bandeiras verde, amarela e vermelha indicarão se a energia custará mais ou menos, em função das condições de geração de eletricidade (ANEEL, 2014a).

Buscando facilitar o entendimento deste novo sistema de tarifação, foram definidos os anos de 2013 e 2014 como anos para teste, onde em cunho educativo, as concessionárias de energia elétrica faturam as unidades consumidoras na bandeira verde, enquanto a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) divulga mês a mês as bandeiras vigentes em cada um dos subsistemas que compõem o Sistema Interligado Nacional (SIN). A Figura 5 ilustra como estão agrupados os subsistemas.

**Figura 5 – Divisão do Território do Brasil em Subsistemas**

Os estados do Amazonas, Amapá e Roraima não integram o SIN não sendo aplicado o sistema de Bandeiras Tarifárias para os mesmos.

A geração de energia elétrica no Brasil é predominantemente oriunda de usinas hidrelétricas, possuindo, conseqüentemente, uma forte relação de dependência com os índices pluviométricos e níveis de armazenamento de água nos reservatórios. Dessa forma, quando esses níveis apresentam-se baixos, há a necessidade de incremento de geração pelas usinas termelétricas, economizando-se a água nos reservatórios, o que onera o custo da geração. De outra forma, quando ocorre abundância de água armazenada, não há necessidade de acionamento das usinas térmicas, tendo como consequência o custo menor de geração.

Considerando esses cenários, o sistema prevê três bandeiras: verde, amarela e vermelha, aplicando-se:

a) Bandeira verde: quando as condições de geração de energia são favoráveis e a tarifa não sofre nenhum acréscimo;

b) Bandeira amarela: quando as condições de geração são menos favoráveis e a tarifa sofre acréscimo de R\$ 1,50 para cada 100kWh consumidos;

c) Bandeira vermelha: quando as condições de geração são mais custosas e a tarifa sobre acréscimo de R\$ 3,00 para cada 100kWh consumidos.

Segundo a ANEEL (2014a), a aplicação das bandeiras é realizada conforme os valores do Custo Marginal de Operação (CMO) e do Encargo de Serviço de Sistema por Segurança Energética (ESS\_SE) de cada subsistema.

O Custo Marginal de Operação (CMO) equivale ao preço de unidade de energia produzida para atender a um acréscimo de demanda de carga no sistema. Assim, uma elevação deste custo indica que a geração de energia elétrica está mais custosa. Um CMO elevado pode indicar níveis baixos de armazenamento de água nos reservatórios das hidrelétricas e condições hidrometeorológicas desfavoráveis, isto é, poucas chuvas nas bacias dos rios. O CMO também é impactado pela previsão de consumo de energia, de forma que um aumento de consumo, em decorrência, por exemplo, de um aumento da temperatura, poderá elevar o CMO. Quando isso acontece, as usinas termelétricas entram em operação para compensar a falta de água dos reservatórios das usinas hidrelétricas ou o aumento de consumo e, assim, preservar a capacidade de geração de energia dessas hidrelétricas nos meses seguintes.

Já os Encargos de Serviço do Sistema (ESS) são aqueles decorrentes da manutenção da confiabilidade e da estabilidade do Sistema Interligado Nacional (SIN). Os custos de ESS por segurança energética advêm da solicitação de despacho do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) para realizar geração fora da ordem de mérito de custo, ou seja, despachar geração mais custosa (térmicas), visando garantir a futura segurança do suprimento energético nacional. Juntos, o CMO e o ESS\_SE determinam a bandeira a ser adotada em cada mês, por subsistema:

- a) Bandeira verde:  $CMO + ESS\_SE$  menor que R\$200,00/MWh
- b) Bandeira amarela:  $CMO + ESS\_SE$  igual ou superior a R\$200,00/MWh e inferior a R\$ 350,00/MWh;
- c) Bandeira vermelha:  $CMO + ESS\_SE$  igual ou superior a R\$350,00/MWh.

Uma vez por mês, o ONS calcula o CMO nas reuniões do Programa Mensal de Operação (PMO) - quando também é decidido se haverá ou não a operação das usinas termelétricas e o custo associado a essa geração. Após cada reunião, com base nas informações do ONS, a ANEEL aciona a bandeira tarifária vigente no mês seguinte.

As bandeiras vigentes para o ano teste 2014, em cada um dos subsistemas (SE/CO, S, NE, N) que compõem o Sistema Interligado Nacional (SIN), estão ilustradas na Figura 5 e na

Figura 6, sendo divulgadas mensalmente pela ANEEL de forma educativa, mesmo as concessionárias de energia elétrica faturando as unidades consumidoras na bandeira verde.

**Figura 6 - Bandeiras tarifárias no ano teste 2014**

| Data   | CMO + ESS_SE |          |          |          |
|--------|--------------|----------|----------|----------|
|        | SE/CO        | S        | NE       | N        |
| jan/14 | 246,33       | 246,33   | 246,33   | 246,33   |
| fev/14 | 1.063,81     | 1.063,81 | 743,26   | 722,93   |
| mar/14 | 1.365,94     | 1.365,94 | 684,40   | 429,05   |
| abr/14 | 922,82       | 922,82   | 792,45   | 776,56   |
| mai/14 | 916,07       | 916,07   | 764,23   | 554,70   |
| jun/14 | 600,51       | 600,51   | 600,41   | 600,41   |
| jul/14 | 446,88       | 212,59   | 446,88   | 446,88   |
| ago/14 | 607,00       | 606,70   | 607,00   | 607,00   |
| set/14 | 724,69       | 724,69   | 724,69   | 724,69   |
| out/14 | 667,28       | 661,93   | 667,28   | 667,28   |
| nov/14 | 1.005,84     | 1.005,84 | 1.005,84 | 1.005,84 |
| dez/14 | 542,77       | 542,77   | 542,77   | 542,77   |

Fonte: ANEEL (2015).

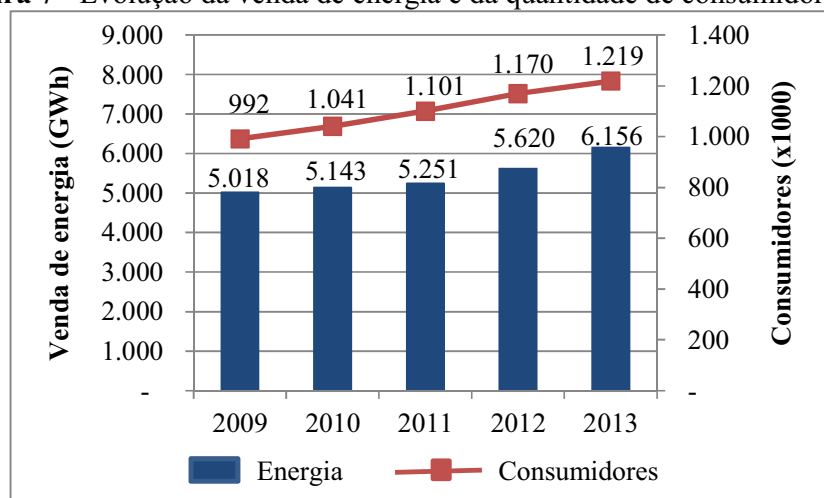
### 2.3 CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DA DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - MATO GROSSO

A distribuição de energia elétrica em Mato Grosso é realizada pelas Centrais Elétricas Matogrossenses S/A - CEMAT, beneficiando aproximadamente três milhões de habitantes, em 141 municípios, distribuídos em uma área de 903.358 Km.

O Grupo Rede assumiu a concessão da CEMAT em 1997, em função do Contrato de Concessão nº 003/1997 firmado com a União, por meio da ANEEL (CENTRAIS ELÉTRICAS MATOGROSSEENSES S/A - CEMAT, 2014a).

No período compreendido entre 2009 e 2013, foi registrado um aumento médio anual, de 5,2% na venda de energia e, de 5,3% na quantidade de consumidores Figura 7.

**Figura 7 - Evolução da venda de energia e da quantidade de consumidores**



Fonte: Centrais Elétricas Matogrossenses S/A - CEMAT (2014).

Em 2013, a CEMAT forneceu aos consumidores finais, 6.156 GWh de energia elétrica, representando crescimento de 9,5% em relação ao exercício anterior, que foi de 5.620 GWh, sendo a classe residencial a que mais cresceu (12,1%).

A CEMAT registrou em 2013, 1.219.489 consumidores cativos, representando crescimento de 4,2% em relação a 2012, que corresponde a um incremento de 49,5 mil unidades consumidoras. Esse crescimento ocorreu, principalmente, conforme já mencionado, devido ao aumento da classe residencial, com incremento de 43,6 mil consumidores (Tabela 7).

**Tabela 6 - Variação da energia distribuída (GWh)**

| <b>Energia distribuída</b> |                |                |                     |
|----------------------------|----------------|----------------|---------------------|
| <b>Classes</b>             | <b>em 2012</b> | <b>em 2013</b> | <b>Variação (%)</b> |
| Residencial                | 1.970,0        | 2.208,1        | 12,1%               |
| Comercial                  | 1.303,9        | 1.428,2        | 9,5%                |
| Industrial                 | 806,8          | 877,4          | 8,8%                |
| Rural                      | 818,2          | 866,2          | 5,9%                |

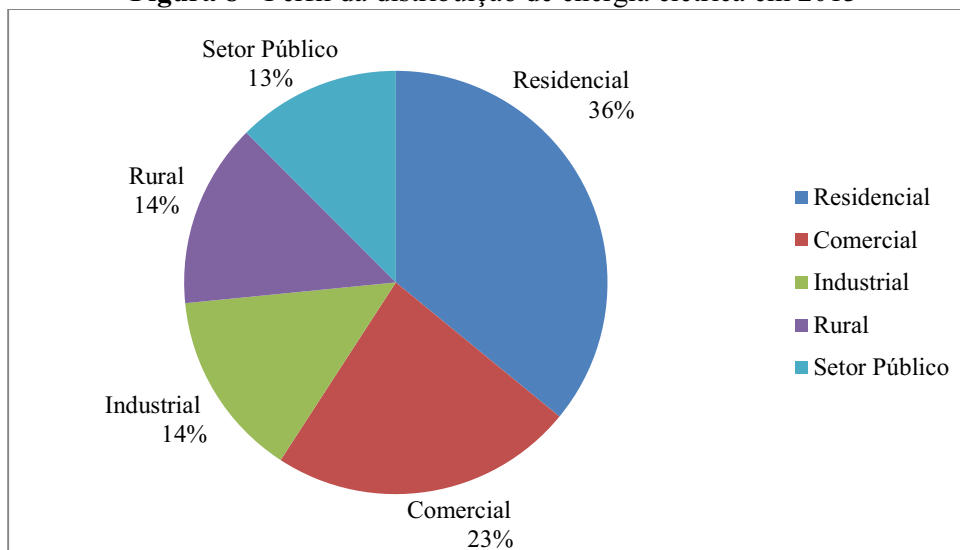
Fonte: CEMAT (2014)

**Tabela 7 - Aumento do número de consumidores 2012 - 2013**

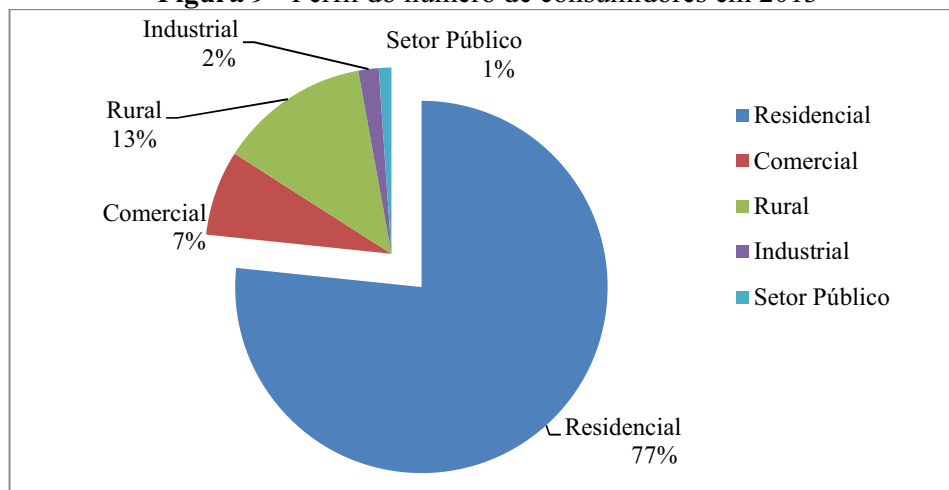
| <b>Consumidores</b> |                |                |                     |                   |
|---------------------|----------------|----------------|---------------------|-------------------|
| <b>Classes</b>      | <b>em 2012</b> | <b>em 2013</b> | <b>Variação (%)</b> | <b>Incremento</b> |
| Residencial         | 890.671        | 934.300        | 4,9%                | 43.629            |
| Comercial           | 86.166         | 90.295         | 4,8%                | 4.129             |
| Rural               | 159.397        | 159.738        | 0,2%                | 341               |
| Industrial          | 20.467         | 21.480         | 4,9%                | 1.013             |
| Setor Público       | 13.020         | 13.390         | 2,8%                | 370               |
| Próprio             | 285            | 286            | 0,4%                | 1                 |
| Total               | 1.170.006      | 1.219.489      | 4,2%                | 49.483            |

Fonte: CEMAT (2014).

A classe residencial é a mais representativa da Companhia, com 36% do total de fornecimento (Figura 8) e 77% do número total de consumidores (Figura 9).

**Figura 8 - Perfil da distribuição de energia elétrica em 2013**

Fonte: CEMAT (2014).

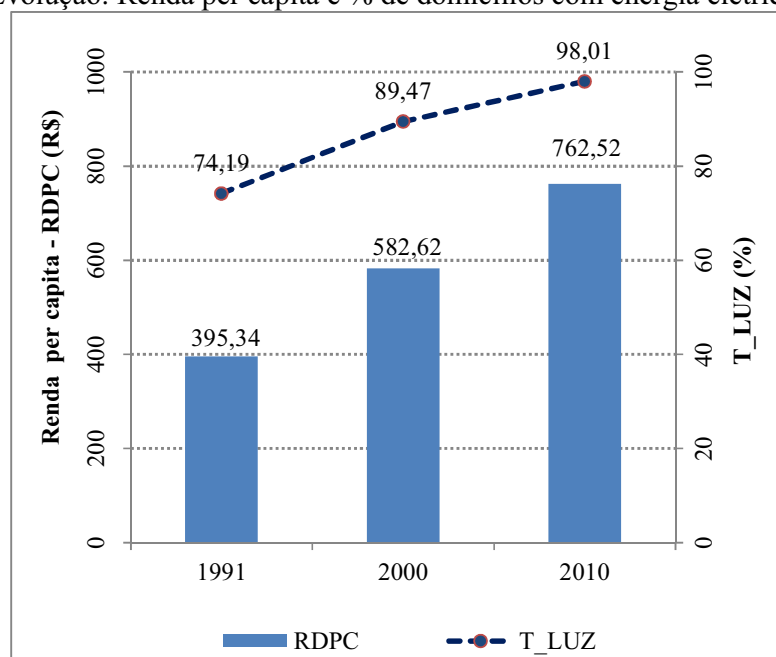
**Figura 9 - Perfil do número de consumidores em 2013**

Fonte: CEMAT (2014).

Dentre os diversos fatores que contribuíram para o aumento de consumo de energia elétrica em Mato Grosso, destacam-se:

a) o aumento da renda per capita (RDPC) de R\$ 395,34 (em 1991) para R\$ 762,52 (em 2010) (PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO - PNUD, 2013) (Figura 10);

b) a ligação de 122.212 novas unidades consumidoras, pelo Programa Luz Para Todos – PLPT, entre os anos de 2004 e 2012, como parte do Programa de Universalização (CEMAT, 2014a).

**Figura 10** – Evolução: Renda per capita e % de domicílios com energia elétrica - 1991 a 2010

Fonte: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD (2013).

A Figura 10 apresenta os seguintes índices disponibilizados pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD:

a) Renda per capita média (RDPC): razão entre o somatório da renda de todos os indivíduos residentes em domicílios particulares permanentes e o número total desses indivíduos. Valores em reais de 01/agosto de 2010 (PNUD, 2013),

b) Percentual da população que vive em domicílios com energia elétrica (T\_LUZ): razão entre a população que vive em domicílios particulares permanentes com energia elétrica e a população total residente em domicílios particulares permanentes multiplicados por 100 (PNUD, 2013).

De acordo com Sailor e Vasireddy (2006), o consumo de energia elétrica é composto por duas partes: um consumo base e um consumo variável, que é sensível às variações climáticas. Esse consumo sensível ao clima é normalmente da ordem de 20% do total da carga energética em residências e edificações.

## 2.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: CONCEITUAÇÃO E HISTÓRICO

A eficiência energética pode ser entendida pela utilização racional de energia, evitando o desperdício, objetivando a obtenção de um serviço com menor dispêndio de energia possível (LAMBERTS et al., 1997).

A utilização eficiente de energia elétrica pode ser alcançada por meio da mudança de comportamento e pela opção de utilização de equipamentos que consumam menos energia (EPE, 2010).

A crise do petróleo na década de 70 evidenciou o fato de que as reservas fósseis teriam custos monetários e ambientais cada vez maiores. Desta forma, a eficiência no uso da energia, em especial a elétrica, tem se tornado um assunto muito debatido no mundo, na busca de alternativas para se realizar um mesmo “serviço de energia” (iluminação, força motriz, equipamentos eletroeletrônicos, etc.) com menor gasto de energia.

No Brasil, em 1984, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - INMETRO iniciou, de forma pioneira, uma discussão com a sociedade sobre a conservação de energia, com a finalidade de contribuir para a racionalização no seu uso no País, informando os consumidores sobre a eficiência energética de cada produto, estimulando-os a fazer uma compra mais consciente. Este projeto cresceu e se transformou no Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) (ELETROBRÁS, 2013a).

Dentre os programas de eficiência energética que o Brasil possui, na área da energia elétrica, destacam-se:

a) Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE): Criado em 1984, inicialmente de caráter voluntário, realiza testes em produtos, classificando-os em uma escala de nível de desempenho, incentivando o aprimoramento constante dos mesmos. Foi estabelecido o calendário da compulsoriedade do PBE Edifica, sendo este até 2021 para prédios públicos, até 2026 para edificações comerciais e até 2031 para edificações residenciais (ELETROBRÁS, 2013a);

b) Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL): Criado em 1985, com atuação inicial marcada pela publicação e distribuição de manuais destinados à conservação de energia elétrica entre vários setores sociais (ELETROBRÁS, 2013b).

Com a crise do setor elétrico, em 2001, após o racionamento de energia, o Brasil estabeleceu diversas outras ações para estimular o uso eficiente da energia elétrica. Um importante passo foi a publicação da Lei nº 10.295, publicada pelo Ministério de Minas e Energia em 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, que estabelece a criação de mecanismos que resultem em edificações mais eficientes (BRASIL, 2001b). O Decreto nº 4.059 de 19 de dezembro de 2001 regulamentou a referida Lei estabelecendo níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia

fabricados ou comercializados no País, bem como as edificações construídas eficientes (BRASIL, 2001a).

Uma das consequências dessa normatização foi o fortalecimento do PROCEL, Programa Nacional de Conservação de Energia.

## **2.5 PROJETOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E AS DISTRIBUIDORAS DE ENERGIA ELÉTRICA**

A Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000 (BRASIL, 2000) consolidou a destinação de um montante importante de recursos para ações de Eficiência Energética, o chamado Programa de Eficiência Energética (PEE) das Concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica. Por determinação da mesma, as referidas concessionárias passaram a investir, obrigatoriamente, 0,5% da receita operacional líquida (ROL) em projetos de eficiência energética (EE), tendo sido estabelecida a alteração deste percentual para 0,25% a partir de 01 de janeiro de 2006. Posteriormente, essa data foi prorrogada para 01 de janeiro de 2016 pela Lei nº 12.212, de 20 de janeiro de 2010 (BRASIL, 2010).

Em 2005, a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL estabeleceu o direcionamento de pelo menos 50% dos recursos desse programa para o uso eficiente de energia junto a consumidores residenciais de baixa renda (adequação de instalações elétricas internas das habitações, doações de equipamentos eficientes, entre outros) por meio da Resolução Normativa nº 176, 28 de novembro de 2005 (ANEEL, 2005). Esse percentual foi posteriormente alterado para um mínimo de 60% em 2010 (BRASIL, 2010).

Com o objetivo de orientar o cálculo da viabilidade econômica de Projetos de Eficiência Energética (EE), a ANEEL aprovou via Resolução Normativa nº 556 de 18 de junho de 2013 (ANEEL, 2013a) os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPEE, que no Módulo 7 (ANEEL, 2013b) trata do Cálculo da Viabilidade dos Projetos.

O parâmetro fundamental utilizado para avaliação da viabilidade econômica de um projeto do PEE é a Relação Custo-Benefício (RCB) que ele assegura. O benefício considerado é a valoração da energia economizada e da redução da demanda na ponta durante a vida útil do projeto para o sistema elétrico. O custo está relacionado aos aportes feitos para a sua realização (do projeto de EE, do consumidor ou de terceiros). Outros benefícios (mensuráveis e não mensuráveis) podem ser considerados em situações singulares.

## 2.6 EFICIÊNCIA NAS EDIFICAÇÕES

Lamberts et al. (1997) afirma que um edifício é mais eficiente que o outro quando proporciona as mesmas condições ambientais, com menor consumo de energia.

Considerando que a conservação de energia residencial é componente chave para gestão da energia e estabelecimento de políticas mitigadoras das mudanças climáticas, Suter e Shammin (2013) enfatizaram a importância de realização de comparações da eficácia relativa de medidas destinadas a reduzir o consumo de energia residencial. Os autores realizaram experimento de campo em residências alugadas para estudantes, na cidade de Oberlin em Ohio (EUA), objetivando estimar os retornos de três tipos de medidas de conservação de energia (instalação de termostatos programáveis, isolamento do ático e provisão de incentivos financeiros). Os resultados do experimento indicam reduções consideráveis no consumo de energia associado com a instalação de isolamento do sótão e da concessão de incentivos para a conservação de energia (SUTER; SHAMMIN, 2013).

A eficiência energética de um edifício está relacionada com a adequação ao clima do local onde o mesmo se insere, que corresponde a adoção de estratégias bioclimáticas.

As estratégias bioclimáticas constituem-se de medidas em prol da eficiência energética, do conforto ambiental, uso racional da água e de outras medidas ligadas ao impacto ambiental da construção. Essas medidas são: (i) orientação dos edifícios em relação à radiação solar, (ii) forma arquitetônica de acordo com os princípios da arquitetura bioclimática, (iii) uso apropriado dos materiais de acordo com as condições climáticas, (iv) proporção das áreas envidraçadas de fachada a fim de minimizar os ganhos térmicos e maximizar o aproveitamento da luz natural, (v) utilização de proteções solares, (vi) aproveitamento de ventilação natural, (vii) aproveitamento de luz natural, (viii) impacto ambiental dos materiais construtivos, (ix) uso racional da água, coleta de água de chuva e aproveitamento de águas cinzas e (x) uso da vegetação para a qualidade ambiental do conjunto (LAMBERTS et al., 1997).

O acesso à moradia constitui-se direito universal dos cidadãos e a qualidade das habitações de interesse social, particular neste estudo, é analisada sob a ótica da eficiência energética, apresentando-se como um dos quesitos do equacionamento da crise energética atual. A interface dos temas se dá na sustentabilidade, entendida como a busca de equilíbrio entre proteção ambiental, justiça social e viabilidade econômica.

Nos países desenvolvidos, edificações são projetadas para atender às demandas referentes à sustentabilidade na concepção e uso dos espaços. Desta forma, são adotados recursos de aproveitamento da luz natural, uso racional dos sistemas de refrigeração e

aquecimento, reciclagem de resíduos, aproveitamento de águas pluviais, reaproveitamento de águas servidas, utilização de energia solar e geração autônoma de eletricidade, dentre outros.

Construções como essas, comumente denominadas de sustentáveis, verdes ou ecológicas, geralmente demandam maior investimento inicial, com representativa economia ao longo de seu uso e operação. Em se tratando do Brasil, esse custo inicial é ainda maior, pela incipiência da disponibilidade de tecnologia nacional e de cultura dos profissionais da construção civil para desenvolvimento e avaliação de projetos, bem como execução de obras desse caráter. Pensar o desenvolvimento sustentável no âmbito das habitações de interesse social em nosso país é um desafio ainda maior, somando-se às dificuldades anteriormente citadas, e a necessidade de recursos financeiros destinados ao setor.

Nesse sentido, Miranda (2011) avaliou o desempenho térmico das residências do Programa de Arrendamento Residencial (PAR), a partir de monitoramento das condições higrotérmicas e pela aplicação de procedimentos da NBR 15.575-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2013a). Os resultados evidenciaram a importância da cobertura no desempenho termoenergético das edificações. Avaliou o uso da ventilação natural no período noturno como alternativa para redução do consumo de energia elétrica no condicionamento ambiental de dormitórios, demonstrando que é possível se obter conforto térmico noturno apenas com a adoção de estratégias bioclimáticas, mesmo em uma cidade de clima quente, como Cuiabá.

Damé (2008) afirma que o PAR assume uma grave característica, comum aos programas de provimento habitacional: a produção em larga escala que estimula a repetição desenfreada de tipologias e tipos. Aponta a massificação na produção de moradias, desconsiderando aspectos importantes como as características do clima e as técnicas e materiais adequados às realidades dos locais. No seu trabalho, destaca problemas em relação ao desempenho e conforto térmico dos referidos conjuntos habitacionais, ressaltando que os mesmos acabam relevados ao segundo plano e que as questões econômicas servem como justificativa para a utilização de tecnologias e materiais inadequados, assim como para projetos arquitetônicos padronizados.

Vieira et al. (2008) verificaram que, nas habitações construídas pelo PAR, existe pouca preocupação com habitabilidade, sendo que as pessoas que adentram a essas moradias, não possuem outras alternativas para aquisição da casa própria.

Um dos principais instrumentos da atual Política Nacional de Habitação é o Programa de Minha Casa Minha Vida (PMCMV), cuja meta inicial era beneficiar um milhão de novas famílias, meta essa já alcançada e ampliada para dois milhões, com expectativa de nova

ampliação para três milhões de habitações. Neste contexto, Monteiro, Veloso e Pedrini (2012) estudaram o conforto térmico de habitação de interesse social em Macaíba-RN, tendo sido verificado que as amarras impostas ao custo total e à área construída do projeto da unidade habitacional do programa MCMV não contribuem para a busca de melhores soluções, resultando em produtos praticamente idênticos em um país de regiões de climas diversificados.

Conclui-se que as habitações desses programas são compactas e de pouca flexibilidade quanto à organização do espaço, ventilação e orientação solar. É incipiente a preocupação com a sustentabilidade no âmbito do programa, embora, já existam incentivos para isso, como o Selo Azul (JOHN e PRADO, 2010), que pretende incentivar o uso racional de recursos naturais nos empreendimentos, abrangendo temas como eficiência energética e conforto, bem como promover a conscientização de empreendedores e moradores sobre as vantagens das construções sustentáveis.

O Ministério das Cidades, em sua publicação Caderno 9 – Eficiência Energética em Habitações de Interesse Social (BRASIL, 2005), afirma que:

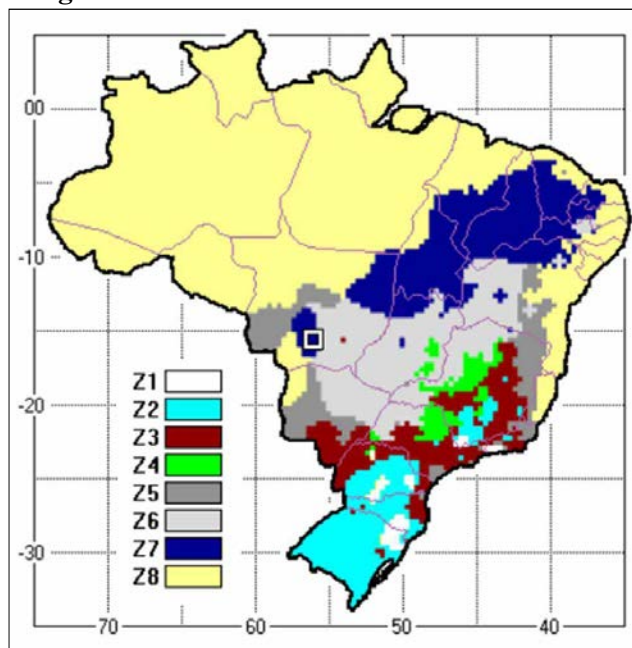
É importante que os programas de habitação social no Brasil estejam preparados para aproveitar o conjunto de recursos ambientais existentes, de forma a reduzir o consumo de energia, minimizar os custos dos empreendimentos, da manutenção e da operação e, principalmente, garantir o conforto ambiental nessas edificações, tendo em vista seus efeitos diretos sobre a saúde e a produtividade dos moradores. [...]

Para tanto, torna-se primordial o conhecimento das especificidades climáticas e culturais de cada região, das rotinas de uso da edificação e do perfil dos usuários envolvidos ao longo do Brasil — rural ou urbano — de forma a garantir o atendimento das suas necessidades básicas de iluminação, ventilação, aquecimento de água, arrefecimento e outras, a um custo menor e com mais eficiência energética e qualidade ambiental. É imprescindível que esses conhecimentos sejam aplicados a todas as etapas da concepção do projeto de arquitetura: desenho do loteamento, implantação da edificação no lote, tratamento da superfície no entorno, volumetria e organização dos espaços internos, escolha dos elementos e materiais do envelope construtivo; e, sobretudo, na escolha, dimensionamento e proteção externa das aberturas e coberturas. Isso para que o conjunto da edificação resultante seja o mais adequado, influenciando diretamente na melhoria do desempenho energético.

### **2.6.1 Zoneamento bioclimático**

Por Zona Bioclimática (ZB) entende-se a região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre o ambiente construído e conforto humano (ABNT, 2005). Esse zoneamento dividiu o território em oito zonas (Figura 11) relativamente homogêneas quanto ao clima, com 330 cidades no total.

Para cada Zona Bioclimática (ZB), foram formulados conjuntos de recomendações de diretrizes construtivas e estratégias de condicionamento passivo, com vistas à otimização do desempenho térmico das edificações, por meio de sua melhor adequação climática.

**Figura 11 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro**

Fonte – Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2005b).

O estado de Mato Grosso abrange cinco ZB distintas (Figura 11) de acordo com o Zoneamento Bioclimático brasileiro. Cuiabá, cidade onde se localiza o objeto deste estudo, está inserida na ZB7, à qual pertencem 39 cidades no total, localizadas nas seguintes Regiões Geográficas Brasileiras: 35 (trinta e cinco) cidades na Região Nordeste, 3 (três) na Região Norte, 3 (três) na Região Centro-Oeste e 1 (uma) na Região Sudeste.

### **2.6.2 Regulamento técnico da qualidade do nível de eficiência energética de edificações residenciais (RTQ-R)**

O Plano de Ação para eficiência energética em edificações (PROCEL-Edifica) abrange seis vertentes de ações, visando construir as bases necessárias para racionalizar o consumo de energia de edificações no Brasil. Esse plano definiu as seguintes vertentes de ação: (i) capacitação técnica dos profissionais de engenharia e arquitetura, (ii) desenvolvimento e certificação de materiais e equipamentos energeticamente eficientes, (iii) disseminação e divulgação da eficiência energética em edificações, (iv) regulamentação/legislação de eficiência energética, (v) fomentar pesquisas e implementar etiquetagem em edificações residenciais, e (vi) implementar ações de suporte (marketing e apoio). O PROCEL-Edifica estima o potencial de redução de consumo energia de 30 a 50%, com implantação de ações com eficiência energética (BRASIL, 2011a, 2011b).

Destaca-se também o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) estabelecido em 2011, que orienta as ações a serem implementadas no sentido de se atingir metas do

Planejamento Energético Nacional, de economizar 10% do consumo até 2030 (BRASIL, 2011a, 2011b). O Plano discorre, dentre outras questões, sobre (i) a necessidade de promoção de integração entre política habitacional e política energética para edificações e, (ii) a importância do estímulo à inserção de conceitos de eficiência energética em edificações em projetos de interesse social financiados por agentes dos governos federal, estaduais e municipais.

O Brasil estabeleceu ainda o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) em janeiro de 2012, que estabeleceu parâmetros para a definição do nível de eficiência de edifício residencial com vistas ao fornecimento da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), sendo que a aplicação é de forma voluntária (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO, 2012).

O RTQ-R, estabelecido pela Portaria INMETRO 449/2010 (INMETRO, 2010), revisado pela Portaria INMETRO 18/2012 (INMETRO, 2012), especifica os requisitos técnicos, bem como os métodos para classificação de edificações residenciais quanto à eficiência energética. Considera a localização conforme o Zoneamento Bioclimático Brasileiro estabelecido pela NBR 15.220-3 (ABNT, 2005b), e as características da envoltória, do sistema de aquecimento de água e das bonificações referentes ao reuso de água, uso de energias alternativas e outras que contribuam com a sustentabilidade.

A NBR 15.220-3 (ABNT, 2005b) foi a primeira norma brasileira específica para avaliação de desempenho térmico de edificações residenciais, com foco em habitações de interesse social, apresentando recomendações quanto ao desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social aplicáveis na fase de projeto.

A partir do estabelecimento dessas normativas estão sendo desenvolvidas várias pesquisas com aplicação direta das mesmas, e de análise dos critérios nelas estabelecidos.

Cita-se como exemplo, a pesquisa de Matos et al. (2014), que analisou a eficiência energética de edifícios vertical pelo método prescritivo na cidade de Natal/RN. Ao comparar uma tipologia compacta com outra alongada, verificou que os ambientes com apenas uma parede externa voltada para Leste e Sul apresentam melhor classificação do que quando as mesmas estão voltadas para Norte e Oeste. Segundo esses autores,

Apesar das limitações apontadas, a implementação do RTQ-R, através do estabelecimento de níveis mínimos de eficiência energética, deverá, em médio e longo prazo, contribuir para retirar do mercado edifícios residenciais energeticamente ineficientes e promover a construção de edificações adequadas às especificidades climáticas regionais. Quando o regulamento tiver aplicação compulsória, o avanço tecnológico necessário para atender às suas determinações

deverá promover o desenvolvimento de pesquisas direcionadas para o tema, bem como transformações no mercado (Matos et al., 2014, p. 655).

Buges et al. (2014) realizou análise experimental do desempenho do envelope de uma habitação unifamiliar adaptada em um contêiner, calculando o Equivalente Numérico da Envoltória (EqNumEnv) pelo método prescritivo, a partir dos níveis de eficiência para verão e inverno, conforme o RTQ-R (INMETRO, 2012), nas quatro orientações geográficas, para cada uma das oito Zonas Bioclimáticas (ZB) definidas pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005b). Os resultados encontrados demonstraram que a residência avaliada é mais viável para regiões quentes e úmidas (onde a eficiência energética da edificação recebe menor influência da capacidade térmica dos componentes construtivos), desde que sejam atendidas as necessidades de aberturas sombreadas. Para a Zona Bioclimática 7 (ZB7) a menor eficiência ocorreu quando a fachada, que possui a maior dimensão, foi voltada para a direção Oeste. Os autores recomendam a realização da avaliação pelo método de simulação, pois a mesma considera a localização exata da edificação, enquanto o método prescritivo estabelece uma equação genérica para cada ZB.

### **2.6.3 NBR 15.575 para avaliação de desempenho térmico de edificações residenciais**

O desempenho térmico depende da correta resolução encontrada para o equilíbrio entre os fatores dinâmicos do clima como temperatura e vento, os fatores estáticos como altitude e latitude, conjugados à carga térmica exercida sobre o indivíduo e as adequadas soluções arquitetônicas (MASCARÓ, 1985).

Desta forma, a obtenção do desempenho térmico de uma edificação, buscando proporcionar conforto a seus usuários com baixo consumo de energia, pode ser obtida com a avaliação do clima local e da interferência dos parâmetros construtivos da edificação. Nesse sentido, devem ser consideradas as decisões de projetos, como as questões relativas à implantação, a forma, ao sistema construtivo, considerando o comportamento térmico de materiais e componentes da edificação.

Em 2008, foi publicada a norma NBR 15.575 dirigida a unidades habitacionais com até cinco pavimentos, com foco na melhoria do desempenho global, visando o aumento de qualidade das edificações brasileiras. A quarta edição desta norma teve sua validade estabelecida a partir de 19 de julho de 2013 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c).

O método de avaliação proposto pela referida norma fundamenta-se, de forma geral, no cumprimento de limites de características termo físicas de materiais e componentes

construtivos, reunindo um conjunto de requisitos e critérios para adequação da edificação ao clima local.

O estudo do desempenho térmico de uma edificação pode se relacionar a áreas correlatas como a do conforto térmico, eficiência energética e sustentabilidade. Como exemplo cita-se Ongaratto et al. (2013) que realizaram pesquisa sobre avaliação das condições de conforto térmico, alterando-se as características (dimensões e tipos de proteção) das janelas de um centro comunitário em Pelotas/RS, situado na Zona Bioclimática (ZB2), utilizando-se simulação computacional. Os resultados obtidos apontam que “as alterações feitas nos tamanhos das janelas e em protetores solares não afetou significativamente o desempenho térmico-energético do edifício” e que, “para o estudo de caso, as variações de outras características do edifício poderia trazer melhores resultados”.

Mazzaferro, Silva e Ghisi (2014) estudaram a influência de elementos construtivos do envelope no desempenho térmico de edificações unifamiliares, e afirmaram que a envoltória do edifício é responsável pelos fluxos de calor entre os ambientes internos e externos, por isso, a composição dos materiais da envoltória exerce uma forte influência do desempenho térmico da edificação. Por meio da utilização de materiais sustentáveis adequados para cada região e clima, é possível obter edificações sustentáveis e termicamente eficientes.

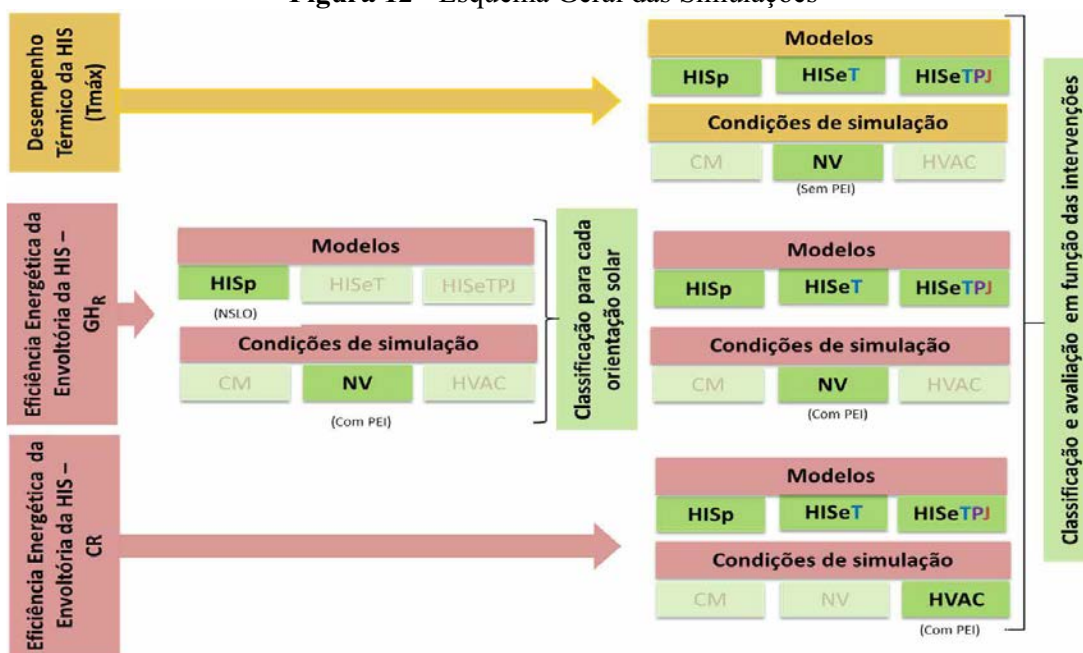
### 3 METODOLOGIA E ESTRATÉGIA DE AÇÃO

De acordo com sua natureza, esta pesquisa classifica-se em aplicada e, quanto à forma de abordagem do problema, em quantitativa. Silva e Menezes (2001) definem a pesquisa aplicada como aquela em que se objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos e, pesquisa quantitativa, como aquela na qual se busca a interpretação dos fenômenos envolvidos e a atribuição de significados, traduzindo em números, opiniões e informações para classificá-las e analisá-las.

Papst (2004) cita que, para análise de desempenho térmico de edificações, pode-se dispor de medições ou de modelos matemáticos, sendo estes teóricos ou derivados de dados experimentais. Monteiro, Veloso e Pedrini (2012) destacam que, no contexto de programas habitacionais os recursos são escassos e que, na etapa do projeto, podem-se obter maiores ganhos do ponto de vista de desempenho térmico. Ressalta ainda que, testar as certificações (por métodos prescritivos e de simulação) subsidiaria ainda mais a tomada de decisões por parte dos arquitetos projetistas.

No delineamento desta pesquisa, optou-se pela realização de medições locais e de simulações computacionais. As medições permitiram a calibração dos modelos simulados e estes, por sua vez, subsidiaram a extrapolação de resultados para diferentes cenários que não apenas os medidos, possibilitando uma maior abrangência das possibilidades, análises e resultados. A Figura 12 ilustra o fluxo de simulações executadas.

**Figura 12 - Esquema Geral das Simulações**



Fonte: Elaboração da autora

### 3.1 LOCAL DA PESQUISA E OBJETO DE ESTUDO

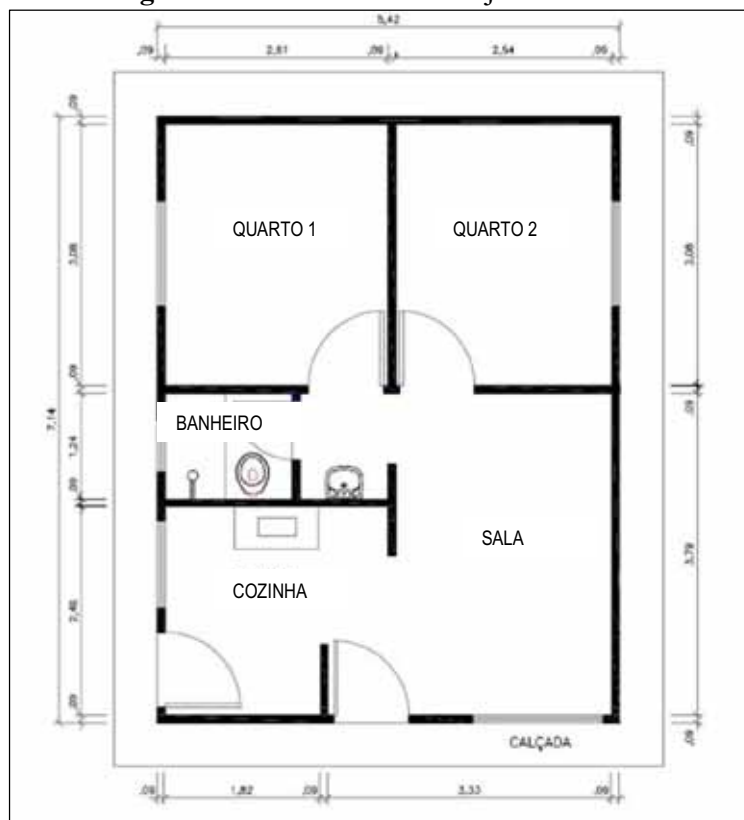
Do universo amostral de habitações de interesse social, do tipo unifamiliar, localizadas na cidade de Cuiabá, situada na Zona Bioclimática 7, conforme NBR 15.220-3 (ABNT, 2005b), definiu-se um objeto de estudo em um conjunto habitacional do Programa Minha Casa Minha Vida. Este objeto de pesquisa foi uma Habitação de Interesse Social (HIS), do tipo unifamiliar (Figura 13) que possui 39,57m<sup>2</sup> de área, contendo sala-cozinha, dois quartos e banheiro (Figura 14).

**Figura 13** - Objeto de estudo



Fonte: Elaboração da autora

**Figura 14** - Planta baixa do objeto de estudo



Fonte: Elaboração da autora

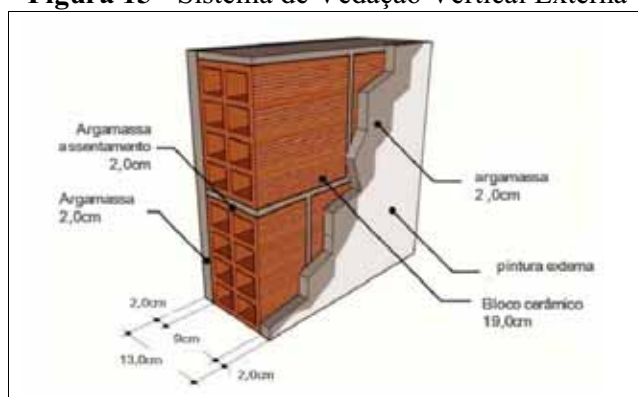
Os valores das propriedades térmicas das paredes foram obtidos através do cálculo proposto pela NBR 15.220-2 (ABNT, 2005a). Foram adotados os valores do Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes e Coberturas (V5) (LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES - LABEEE, 2011a) para as propriedades térmicas da cobertura, conforme Tabela 8, Figura 15 e Figura 16.

**Tabela 8** - Propriedades térmicas das paredes e da cobertura da HIS

| Sistemas de Fechamento | Absortância ( $\alpha$ ) | Transmitância Térmica (U) ( $W/m^2K$ ) | Capacidade Térmica (CT) ( $J/m^2K$ ) |
|------------------------|--------------------------|--|--------------------------------------|
| Paredes                | 0,3                      | 2,55                                   | 137,81                               |
| Cobertura              | 0,8                      | 1,75                                   | 21                                   |

Fonte: Elaboração da autora

**Figura 15** - Sistema de Vedação Vertical Externa



**Figura 16** - Sistema de Cobertura



Fonte: Elaboração da autora

As esquadrias dos quartos e da sala são metálicas, do tipo veneziana e vidro, de correr com quatro folhas, com as áreas efetivas de ventilação e iluminação apresentadas na Tabela 9. Na cozinha, a esquadria é metálica do tipo basculante, com vidro (Figura 13).

Os percentuais de áreas de ventilação e iluminação das esquadrias foram definidos conforme Anexo II do RTQ-R (INMETRO, 2012), a saber: janela veneziana de correr com quatro folhas (duas fixas e duas móveis) iguais a 40 e 45%, respectivamente, e janela basculante, iguais a 70 e 80%, respectivamente. As portas externas são em chapa metálica e, as internas, em madeira.

**Tabela 9** - Dimensões e áreas efetivas de ventilação e iluminação das esquadrias

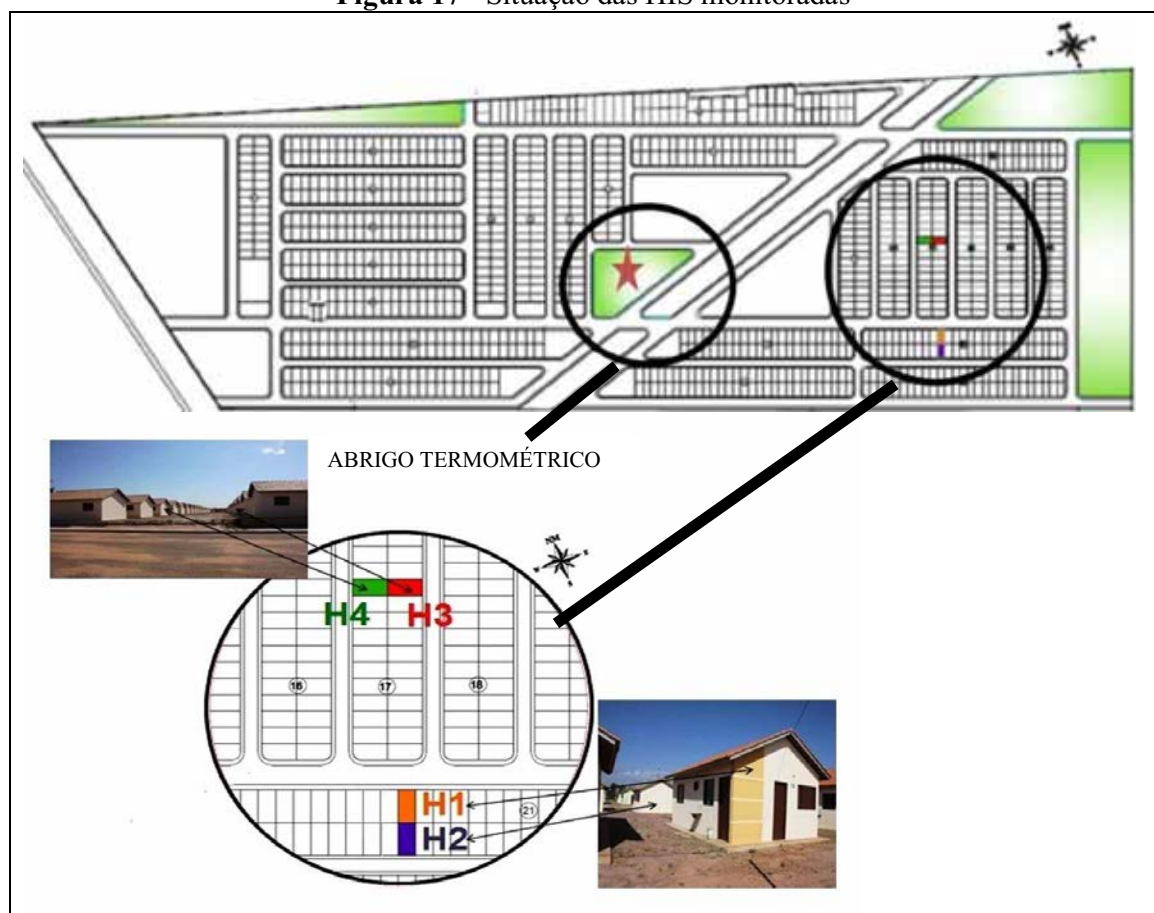
| Ambiente | Esquadrias    |                        | Área de Ventilação Natural |                                | Área de Iluminação Natural |                                |
|----------|---------------|------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
|          | Dimensões (m) | Área (m <sup>2</sup> ) | Percentual (%)             | Área efetiva (m <sup>2</sup> ) | Percentual (%)             | Área efetiva (m <sup>2</sup> ) |
| Sala     | (1,50 X 1,00) | 1,50                   | 40                         | 0,60                           | 45                         | 0,68                           |
| Cozinha  | (1,00 X 1,00) | 1,00                   | 70                         | 0,70                           | 80                         | 0,65                           |
| Quarto 1 | (1,20 X 1,00) | 1,20                   | 40                         | 0,48                           | 45                         | 0,54                           |
| Quarto 2 | (1,20 X 1,00) | 1,20                   | 40                         | 0,48                           | 45                         | 0,54                           |

Fonte: Elaboração da autora

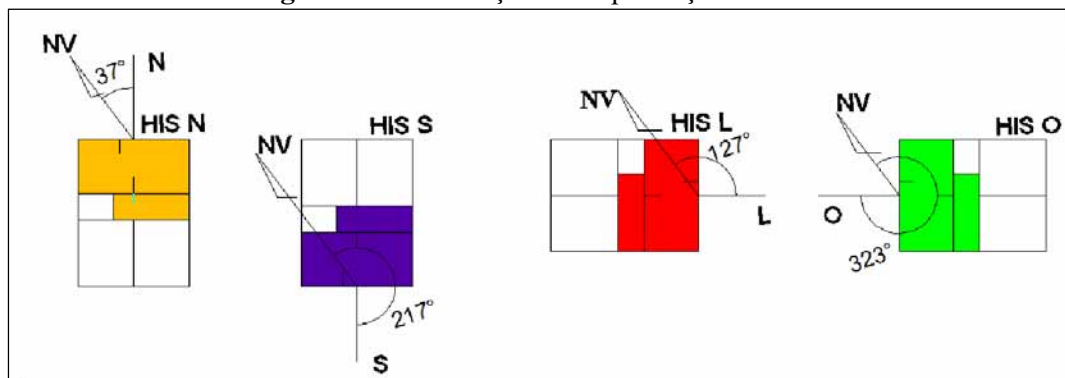
### 3.2 REALIZAÇÃO DAS MEDIÇÕES

Dentre as 472 (quatrocentos e setenta e duas) habitações do conjunto habitacional foram selecionadas quatro HIS não habitadas para as medições, mantendo-se as janelas e portas fechadas durante a realização das mesmas, situadas conforme Figura 17.

As fachadas das mesmas possuem azimutes iguais a 37° (HIS N – NORTE), 217° (HIS S - SUL), 127° (HIS L – LESTE), e 323° (HIS O – OESTE) (Figura 18).

**Figura 17** - Situação das HIS monitoradas

Fonte: Elaboração da autora

**Figura 18 - Orientação de implantação das HIS**

Fonte: Elaboração da autora

Doravante, consideraram-se as orientações da fachada principal como sendo Norte (0°), Sul (180°), Leste (90°) e Oeste (270°), em função dos parâmetros do RTQ-R (INMETRO, 2012).

Antes do início das medições de campo realizou-se a calibração dos equipamentos possibilitando a obtenção de confiabilidade nos resultados das medições de campo (Figura 19). Essa calibração consistiu da verificação dos registros de todos os equipamentos em relação a um utilizado como referência (Registrador 1).

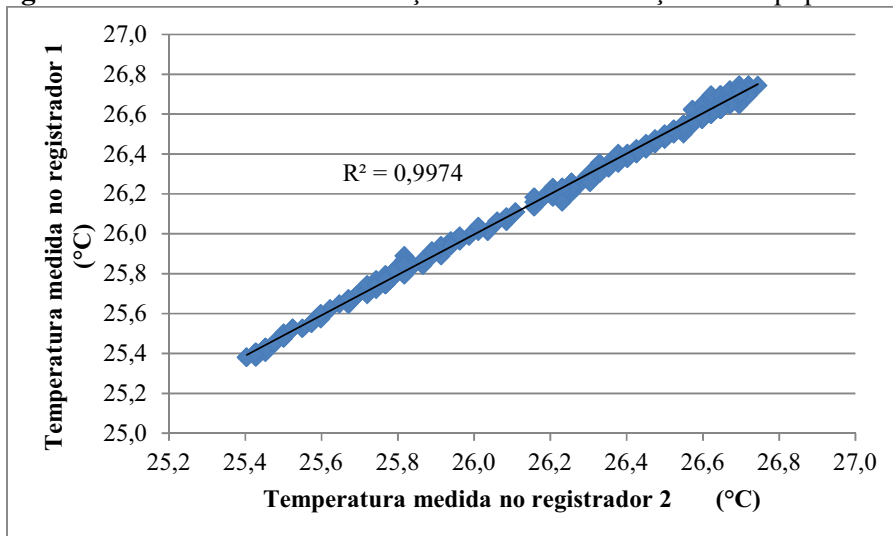
No processo de calibração, utilizou-se o coeficiente de correlação linear calculado conforme Costa (2005), resultando em  $R^2$  acima de 0,95 (correlação positiva e forte) para todos os equipamentos utilizados, obtendo-se o gráfico de correlação linear para calibração de cada um deles. A Figura 20 apresenta o referido gráfico relativo a um dos equipamentos, cujo resultado foi  $R^2 = 0,9974$ . O termo correlação significa relação em dois sentidos (co + relação), e é usado em estatística para designar a força que mantém unidos dois conjuntos de valores, sendo verificada a existência e o grau de relação entre as variáveis envolvidas.

**Figura 19** - Calibração dos equipamentos antes da medição de campo



Fonte: Elaboração da autora

**Figura 20** - Coeficiente de correlação linear da calibração dos equipamentos

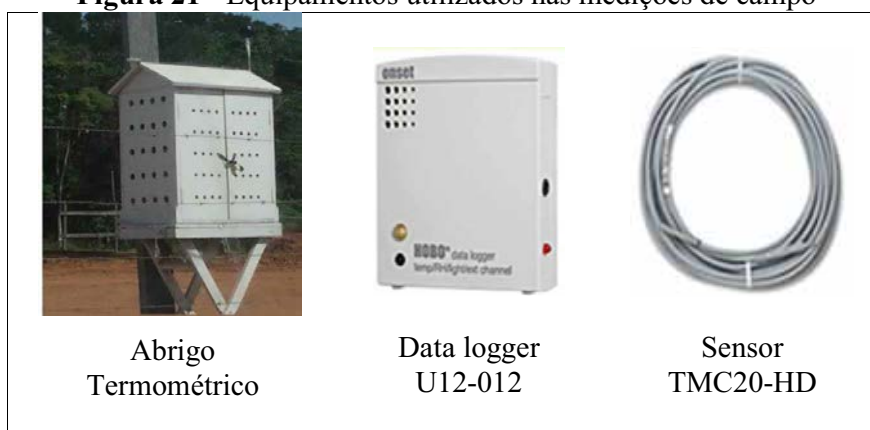


Fonte: Elaboração da autora

Foram realizadas medições da variável ambiental temperatura de bulbo seco, interna e externamente às edificações. Externamente, utilizou-se um abrigo termométrico (Figura 21) implantado próximo às HIS (Figura 17), no interior do qual foram instalados um registrador automático (*data logger*) U12-012, da marca HOBO, possibilitando medição da temperatura de bulbo seco do ar ( $T_{BS}$  em °C) conforme recomendação da ISO 7726 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, 1998).

Esse mesmo equipamento foi instalado no centro dos ambientes selecionados para o estudo (sala-cozinha e quartos das HIS), a uma altura de 1,20m do piso, conforme recomendação da ISO 7726 (ISSO, 1998).

**Figura 21** - Equipamentos utilizados nas medições de campo



Fonte: Elaboração da autora

As medições foram realizadas por um período compreendido entre os dias 14 de junho e 12 de julho de 2012, na estação quente e seca.

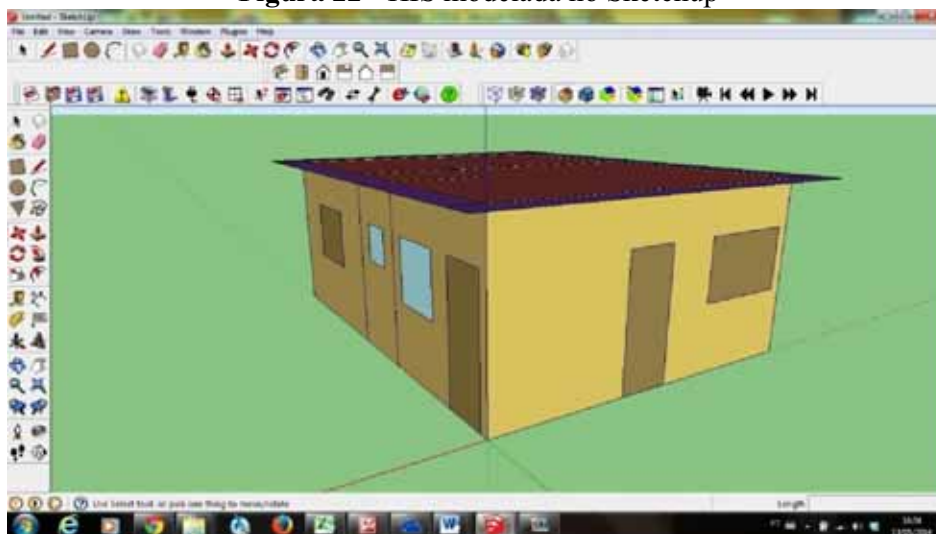
Ao todo foram instalados treze registradores automático (*data logger*) HOBO U12-012 (nas 4 salas, nos 8 quartos e no interior do abrigo termométrico), 4 registradores automáticos (*data logger*) HOBO U12-013 (nas 4 cozinhas), todos configurados para medição da  $T_{BS}$ .

As temperaturas medidas permitiram a avaliação do comportamento térmico das unidades amostrais e a calibração do modelo.

### 3.3 MODELAGEM NO SKETCHUP

Utilizou-se o “*plug in*” Open Studio no software *Sketchup*, para modelagem da edificação conforme dimensões da Figura 14. A cobertura possui duas águas, representadas no modelo por uma superfície plana de resistência térmica equivalente (Figura 22).

**Figura 22** - HIS modelada no Sketchup



Fonte: Elaboração da autora

### 3.4 INSERÇÃO DOS DADOS NO *ENERGY PLUS*

Para as simulações computacionais, dentre os diversos softwares de simulação de edifícios disponíveis, adotou-se o *EnergyPlus*, de acesso gratuito, disponibilizado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, e recomendado pelas normativas utilizadas como referência neste estudo (ABNT, 2013a; INMETRO, 2012).

O *EnergyPlus* nasceu a partir da junção das qualidades de dois programas, *BLAST* e *DOE-2*, sendo utilizado para análise energética e simulação de carga térmica de edificações (ENERGYPLUS, 2013).

Foi desenvolvido para simulação de carga térmica, consumo de energia elétrica ativa, estimativa de demanda de potência ativa, enquadramento tarifário mais adequado e análise energética de edificações e seus sistemas, além de integrar vários módulos que trabalham juntos para calcular a energia requerida para aquecer ou resfriar um edifício, usando uma variedade de sistemas e fontes de energia.

Através da modelagem da edificação, abrangendo desde sua geometria, construção física, sistemas de climatização, rotinas de ocupação, dentre outros, o programa estima o consumo energético da edificação considerando as trocas térmicas e a carga térmica necessária para manter o ambiente dentro dos limites de controle térmico estabelecidos.

Dentre suas principais funcionalidades, destacam-se (ENERGYPLUS, 2013):

- a) Capacidade de simulação diferenciada (*time-step* sub-horário);
- b) Integração de vários módulos que trabalham juntos para calcular a energia requerida para aquecer ou resfriar um edifício;

- c) É validado segundo testes propostos pela Standard 140-2004 (ASHRAE, 2004);
- d) Modela 8.760 horas por ano;
- e) Modela efeitos de inércia térmica;
- f) Modela efeitos de multi-zonas térmicas;
- g) Modela variações horárias de ocupação, potência de iluminação e equipamentos, rede de ventilação natural e sistemas de condicionamento artificial, definidos separadamente para cada dia da semana e feriados;
- h) Simula as estratégias bioclimáticas adotadas no projeto.

O *EnergyPlus* utiliza o arquivo climático da região a que pertence a edificação, que contém uma série de dados meteorológicos, que melhor representam o clima da localidade (RORIZ, 2012).

A simulação compreendeu as seguintes etapas: modelagem da geometria da HIS, inserção dos dados dos materiais de construção opacos e transparentes, inserção dos padrões de ocupação dos ambientes, inserção dos parâmetros dos sistemas de iluminação, ventilação natural, refrigeração artificial e outros sistemas que utilizem energia (equipamentos).

Foram realizadas simulações em três condições distintas, a saber:

- a HIS nas mesmas condições conforme medição (CM), ou seja, ventilado por frestas (VF), para a calibração do modelo (via obtenção do coeficiente de correlação linear);

- a HIS na condição naturalmente ventilada (NV), objetivando as avaliações do desempenho térmico (mediante a determinação da Temperatura interna máxima do dia típico de verão ( $T_{i,máx}$ )) e, da classificação do nível de eficiência da envoltória da habitação (mediante o indicador Graus Hora de Resfriamento ( $GH_R$ ));

- a HIS na condição condicionada artificialmente (HVAC), para a verificação do nível de eficiência da envoltória da habitação (por meio do cálculo do consumo relativo de energia elétrica ( $C_R$ )), bem como o consumo de energia elétrica e a demanda de potência.

Os parâmetros inseridos no *EnergyPlus* serviram de base para as simulações nas três condições acima. Entretanto, alguns objetos foram inseridos de forma diferente para cada uma destas simulações, de modo a retratar, de forma mais aproximada possível, as condições estudadas. Como exemplo, pode-se citar a inserção de objetos referentes a sistema de condicionamento de ar que permanecem desligados nas simulações CM e NV, mas foram ligados nas simulações HVAC.

Destaca-se, ainda, que o conjunto de parâmetros referentes à ocupação de pessoas (P), aos equipamentos (E) e à iluminação (I), denominado PEI:

- não foi inserido no modelo na condição CM (para fins de calibração do modelo), por representar a realidade da HIS na condição de medição que foi realizada sem a presença de pessoas, equipamentos e iluminação;

- não foi inserido no modelo na condição NV (para a obtenção da temperatura máxima do dia típico de verão ( $T_{i,máx}$ )), em atendimento a NBR 15.1575 (ABNT, 2013));

- foi inserido nos modelos nas condições NV (para a obtenção do  $GH_R$ ) e HVAC, para enquadramento de ambas aos requisitos do RTQ-R.

Os parâmetros inseridos no arquivo de dados para as simulações computacionais nas condições CM, NV e HVAC, constam do Apêndice A.

### 3.5 CALIBRAÇÃO DO MODELO

A etapa de simulação de edifícios, segundo Papst (2004), deve ser trabalhada primeiramente para fins de calibração do aplicativo computacional, onde se asseguram que as predições do modelo matemático e do objeto estudado estão em consonância. Na sequência, o aplicativo deve ser validado, verificando-se a fidedignidade entre resultados da simulação e as condições reais de funcionamento.

A complexidade na utilização das ferramentas computacionais para análise do comportamento energético, térmico, acústico e de iluminação de edifícios, no que diz respeito à definição de certos parâmetros, tem provocado a simplificação dos modelos e imprecisão dos resultados. Desta forma, considerou-se essencial a calibração do modelo da HIS, para que os resultados do programa computacional sejam considerados confiáveis.

O procedimento adotado para a calibração do modelo está dividido em três etapas principais:

a) Monitoramento da temperatura de bulbo seco da edificação (HIS), conforme descrito no item 3.2;

b) Definição do modelo computacional representativo para a edificação monitorada, utilizando simulação computacional com o programa *EnergyPlus*, descrito nos itens 3.3 e 3.4.

c) Comparação dos valores de temperatura de bulbo seco obtidos nas simulações com os obtidos no monitoramento dos ambientes da edificação, por meio do coeficiente de correlação linear de Pearson.

#### 3.5.1 Simulações para fins de calibração do modelo

A simulação para fins de calibração foi realizada com objetivo de obter, como dados de saída, as temperaturas internas dos mesmos três ambientes monitorados.

Para calibração do modelo, a edificação foi simulada, estabelecendo-se os seguintes parâmetros:

a) no arquivo de dados (*.idf*): nas condições de medição (CM), ou seja, sem ocupação, sem iluminação artificial, sem equipamentos, sem condicionamento de ar artificial, com esquadrias externas fechadas e com as portas internas abertas o que configura ventilação por frestas. Também foram inseridas as temperaturas médias mensais do solo para a HIS na condição de medição (CM) obtidas conforme Apêndice B, na classe (*Site: GrondTemperature: BuildingSurface*;

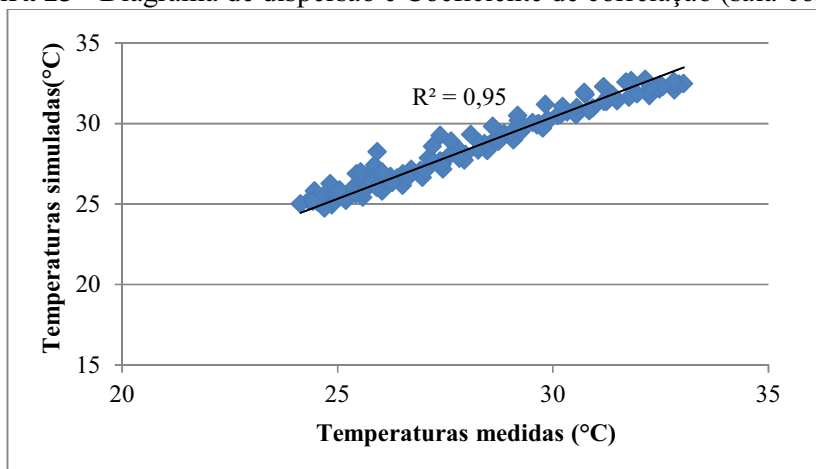
b) no arquivo climático (*.epw*): foram inseridas no arquivo climático de Cuiabá, no período compreendido entre os dias 14/06/12 e 12/07/12, as temperaturas médias horárias do ar externas (medidas em campo) e as temperaturas médias mensais do solo para a HIS na condição de medição (CM) obtidas conforme Apêndice B.

Ressalta-se que os dois arquivos supracitados foram parametrizados da forma descrita, apenas para a calibração do modelo. Para as demais simulações, foram utilizados outros conjuntos de parâmetros, objetivando representar, de forma mais aproximada possível, as diversas condições estudadas, especificadas nos itens pertinentes a cada uma delas.

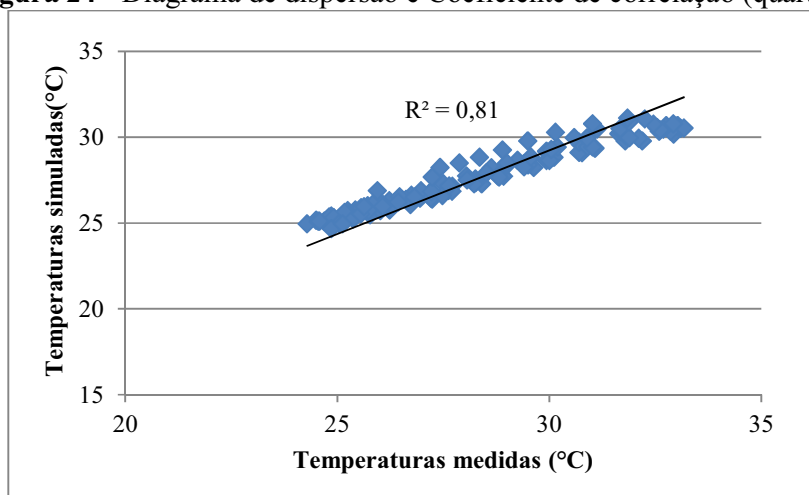
### **3.5.2 Análise estatística de regressão linear – coeficiente de regressão linear**

Do período compreendido entre as datas 14/06/12 e 12/07/12 (utilizado para medição e simulação para fins de calibração), foi selecionado um período de cinco dias (15 a 19/06/12), no qual não houve ocorrência de chuvas, sendo os dados mais apropriados para a calibração do modelo.

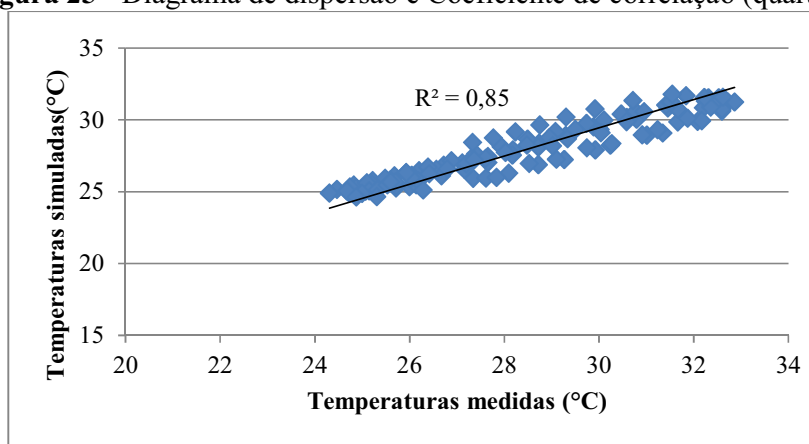
Os dados medidos em campo e os dados resultantes da simulação foram analisados comparativamente por meio dos diagramas de dispersão e dos coeficientes de correlação linear, para cada ambiente de permanência prolongada da HIS estudada, apresentados conforme Figura 23, Figura 24 e Figura 25.

**Figura 23** - Diagrama de dispersão e Coeficiente de correlação (sala-cozinha)

Fonte: Elaboração da autora

**Figura 24** - Diagrama de dispersão e Coeficiente de correlação (quarto 1)

Fonte: Elaboração da autora

**Figura 25** - Diagrama de dispersão e Coeficiente de correlação (quarto 2)

Fonte: Elaboração da autora

Os diagramas de dispersão assemelham-se a uma reta, tendo sido calculados os coeficientes de correlação linear ( $R^2$ ), com resultados iguais a 0,95, 0,81 e 0,85 para os ambientes sala-cozinha, quarto 1 e quarto 2, respectivamente. Considerando-se que os mesmos foram superiores a 0,75, constatou-se que a correlação entre os dois grupos de dados (medidos e simulados) é positiva e forte, indicando a confiabilidade no modelo calibrado, possibilitando a utilização do mesmo, de forma confiável, nas demais simulações.

### **3.6 ORIENTAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO**

No residencial onde se localiza a edificação estudada, foram implantadas habitações nas quatro orientações: Norte, Sul, Leste e Oeste.

Sabe-se que a orientação ao sol de uma edificação é determinante na sua carga térmica, no seu desempenho térmico e, conseqüentemente, nas suas condições ambientais internas. Parte-se da premissa que, selecionando-se a HIS na orientação solar mais desfavorável, a mesma exigirá maior consumo de energia elétrica para proporcionar as condições térmicas adequadas em seu interior. Desta forma, ao serem propostas intervenções de adequação bioclimática na HIS de orientação mais desfavorável e esta, adequando-se, as demais resultariam em condições também mais adequadas, partindo-se do fato de que, ao atender a pior situação, as menos desfavoráveis, também estarão atendidas.

Com o objetivo de verificar qual das orientações é a mais desfavorável do ponto de vista termoenergético, estabelecendo-se o objeto de estudo, foram realizadas quatro simulações da HIS na condição naturalmente ventilada (NV), uma para cada orientação, conforme detalhadas no item 3.6.1.

#### **3.6.1 Simulação para definição da orientação do objeto de estudo**

Inicialmente foi realizada uma simulação da edificação implantada com a perpendicular à fachada principal voltada para a direção Norte, sendo inserido  $0^\circ$  (zero grau) no objeto *Building:North Axis* (graus em relação ao eixo norte).

**Figura 26 – Orientação Norte**

| Field                                   | Units  | Obj1     |
|---|--------|----------|
| Name                                    |        | Casa     |
| North Axis                              | deg    | 0        |
| Terrain                                 |        | City     |
| Loads Convergence Tolerance Value       |        | 0,04     |
| Temperature Convergence Tolerance Value | deltaC | 0,4      |
| Solar Distribution                      |        | FullInte |
| Maximum Number of Warmup Days           |        | 25       |
| Minimum Number of Warmup Days           |        | 6        |

Fonte: Elaboração da autora

Considerando que o indicador Graus Horas de Resfriamento é calculado com base na Temperatura Operativa horária, configurou-se como saída do *EnergyPlus* o arquivo (.csv) contendo as temperaturas operativas horárias em cada ambiente da edificação, para um ano inteiro. O cálculo do indicador GH<sub>R</sub> para cada ambiente foi realizado por meio da somatória da diferença entre as temperaturas horárias de cada zona térmica e a temperatura de base (26°C), quando a primeira era superior à segunda, conforme estabelece o RTQ-R (INMETRO, 2012), analisando-se as 8.760 horas anuais.

O mesmo procedimento foi realizado para as outras orientações (Oeste, Sul e Leste), alterando-se o objeto *Building:North Axis* (graus em relação ao eixo norte), sendo adotados os seguintes valores nas simulações:

- a) 90° (noventa graus): perpendicular à fachada na direção Leste;
- b) 180°(cento e oitenta graus): perpendicular à fachada na direção Sul;
- c) 270° (duzentos e setenta graus): perpendicular à fachada na direção Oeste.

**Figura 27 - Orientação Leste**

| Field                                   | Units  | Obj1     |
|---|--------|----------|
| Name                                    |        | Casa     |
| North Axis                              | deg    | 90       |
| Terrain                                 |        | City     |
| Loads Convergence Tolerance Value       |        | 0,04     |
| Temperature Convergence Tolerance Value | deltaC | 0,4      |
| Solar Distribution                      |        | FullInte |
| Maximum Number of Warmup Days           |        | 25       |
| Minimum Number of Warmup Days           |        | 6        |

Fonte: Elaboração da autora

**Figura 28 - Orientação Sul**

| Field                                   | Units  | Obj1      |
|---|--------|-----------|
| Name                                    |        | Casa      |
| North Axis                              | deg    | 180       |
| Terrain                                 |        | City      |
| Loads Convergence Tolerance Value       |        | 0,04      |
| Temperature Convergence Tolerance Value | deltaC | 0,4       |
| Solar Distribution                      |        | FullInter |
| Maximum Number of Warmup Days           |        | 25        |
| Minimum Number of Warmup Days           |        | 6         |

Fonte: Elaboração da autora

**Figura 29 - Orientação Oeste**

| Field                                   | Units  | Obj1      |
|---|--------|-----------|
| Name                                    |        | Casa      |
| North Axis                              | deg    | 270       |
| Terrain                                 |        | City      |
| Loads Convergence Tolerance Value       |        | 0,04      |
| Temperature Convergence Tolerance Value | deltaC | 0,4       |
| Solar Distribution                      |        | FullInter |
| Maximum Number of Warmup Days           |        | 25        |
| Minimum Number of Warmup Days           |        | 6         |

Fonte: Elaboração da autora

O indicador  $GH_R$  das HIS foi obtido simulando-se o modelo nas direções norte, sul, leste e oeste e ponderando-se os valores de  $GH_R$  de cada ambiente (em cada direção de orientação solar) pelas respectivas áreas.

Analisando-se comparativamente os resultados dos  $GH_R$  das HIS nas quatro orientações Norte, Sul, Leste e Oeste, cujos valores foram 28.868, 28.926, 28.349 e 27.989 $^{\circ}$ Ch, respectivamente, concluiu-se que a HIS implantada na direção Sul é a mais desfavorável, selecionando-a como objeto de estudo para as avaliações de desempenho, sendo denominada HIS padrão (HISp). Concluiu-se, também, que a orientação de menor eficiência foi a da fachada principal voltada para a direção Sul, sendo justificada pela forma dessa edificação que, nessa posição, expõe a fachada de maior dimensão e com maior área de aberturas, para o Oeste. Esses resultados corroboram com Matos et al. (2014).

### 3.7 PROPOSTAS DE INTERVENÇÕES

A HISp conforme construída, foi adotada como modelo inicial sobre o qual foram inseridos dois conjuntos de intervenções, descritos no itens 3.7.1 e 3.7.2, permitindo-se as avaliações comparativas de desempenho de termoenergético dos mesmos.

#### 3.7.1 Pintura na cobertura/telhado (HISeT)

Considerando que a cobertura é um item importante no desempenho da habitação, foi proposta uma intervenção na envoltória, promovendo-se a pintura da cobertura (telha cerâmica) com tinta térmica na cor branca, diminuindo-se a absorvância ( $\alpha$ ) de 0,8 para 0,2, a resistência térmica da câmara de ar (ático) de 0,21 (alta emissividade) para 0,61 (baixa emissividade) e a transmitância (U) de 1,75 para 1,18.

O modelo HISp com a implementação da pintura na cobertura/telhado, denominado HISeT (Habitação de Interesse Social mais eficiente, com pintura tinta térmica na cobertura), foi proposto em função da possibilidade de aplicação em Projeto de Eficiência Energética (PEE) das distribuidoras de energia elétrica.

**Tabela 10 - Propriedades térmicas da cobertura da HISeT**

| <b>Sistemas de Fechamento</b> | <b>Absortância (<math>\alpha</math>)</b> | <b>Emissividade (<math>\epsilon</math>)</b> | <b>Transmitância Térmica (U) (W/m<sup>2</sup>K)</b> |
|-------------------------------|--|---|---|
| Cobertura                     | 0,2                                      | 0,61  | 1,18  |

Fonte: Elaboração da autora

#### 3.7.2 Pintura (cobertura e paredes externas) e alteração das janelas (HISeTPJ)

Nesta intervenção, foram implementadas as seguintes alterações, além da descrita no item 3.7.1 (pintura da cobertura/telhado): (a) pintura das paredes externas na cor branca e (b) ampliação das dimensões das janelas dos ambientes sala-cozinha e dos quartos.

As referidas esquadrias da HISp, do tipo veneziana metálica, de correr com quatro folhas (duas fixas e duas móveis) e dimensões 1,50m X 1,00m (sala) e 1,20m X 1,00m (quartos), foram substituídas por janelas venezianas com duas folhas (uma fixa e uma móvel) e dimensões 1,50m X 1,10m. A janela de vidro com basculante (cozinha) de dimensões 1,00m X 1,00m (na HISp) foi substituída por outra com as mesmas características, alterando-se as dimensões para 1,20m X 1,10m. Essas alterações foram feitas para atendimento aos requisitos de ventilação e iluminação natural da NBR 15.575-4 e do RTQ-R.

Esse modelo de intervenção denominada HISETPJ (Habitação de Interesse Social mais eficiente, com pintura na cobertura e paredes externas, com alteração das janelas) foi proposto de forma a atender os requisitos definidos no RTQ-R.

### **3.8 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DA HIS**

As referências normativas adotadas, atualmente, no Brasil, no que se refere ao desempenho termoenergético de edificações residenciais, são o RTQ-R (INMETRO, 2012) e a NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a), sendo apresentados a seguir os procedimentos estabelecidos em cada uma delas.

#### **3.8.1 RTQ-R**

Para avaliar a envoltória da edificação residencial, os ambientes de permanência prolongada devem atender a pré-requisitos referentes às propriedades termo físicas (absortância solar, transmitância térmica e capacidade térmica), e proporcionar áreas efetivas de ventilação e de iluminação adequados, aberturas devem ser passíveis de fechamento e proporcionarem ventilação cruzada. No caso de não atendimento a um ou mais pré-requisitos, a classificação da eficiência energética da envoltória fica limitada ao nível “C”.

O RTQ-R (INMETRO, 2012) prevê duas possibilidades de métodos de avaliação: Método Prescritivo e por simulação computacional. Neste estudo, foi adotado esse último em função das possibilidades que o mesmo apresenta.

#### **3.8.2 NBR 15.575**

A NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a), estabelece dois procedimentos para avaliação de desempenho térmico:

a) Procedimento 1: simplificado (normativo), refere-se à verificação do atendimento aos requisitos e critérios para os sistemas de vedação vertical - paredes (SVV) e cobertura (SC). Para os casos nos quais as avaliações dos referidos critérios resultem em desempenho insatisfatório, a norma determina que seja feita a avaliação da edificação como um todo pelo método da simulação computacional.

b) Procedimento 2: por medição (informativo), é executado por meio da verificação dos valores limites de temperaturas máximas e mínimas do ar no interior de ambientes de permanência prolongada (quartos e sala), em condições de verão e inverno para cada zona bioclimática, em edificações já construídas ou protótipos. Esse procedimento é de caráter informativo, não se sobrepondo ao procedimento simplificado (normativo).

Neste estudo realizou-se o procedimento simplificado e o da simulação computacional.

### 3.8.3 Pré-Requisitos estabelecidos no RTQ-R e na NBR 15.575

O RTQ-R, define um conjunto de parâmetros a serem avaliados, denominados de pré-requisitos que, caso não sejam atendidos, limita-se em “C” o nível de eficiência energética da envoltória. Este conjunto de pré-requisitos (Tabela 11) é composto por duas partes: (a) valores admissíveis para as grandezas térmicas das paredes e (b) valores mínimos para ventilação natural e iluminação natural.

O Procedimento Simplificado definido na NBR 15.575 estabelece dois conjuntos de critérios, com valores admissíveis para as grandezas térmicas das paredes na NBR 15.575-4 (ABNT, 2013b) e das coberturas na NBR 15.575-5 (ABNT, 2013c), bem como, valores mínimos para ventilação natural dos ambientes de permanência prolongada na NBR 15.575-4 (ABNT, 2013b), denominados de requisitos (Tabela 11).

**Tabela 11 - Consolidação dos Pré-Requisitos NBR 15.575 e RTQ-R**

| HIS                                |           |          | Grandezas térmicas |                    |                     | Ventilação Natural |    |    |               | Iluminação Natural |               |               |
|------------------------------------|-----------|----------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|----|----|---------------|--------------------|---------------|---------------|
|                                    |           |          |                    |                    |                     | ambiente           |    |    | Vc (adm)      | Af (%)             | Bv (%)        | Ai (%)        |
|                                    |           |          | $\alpha$           | U                  | CT                  | SC                 | Q1 | Q2 |               |                    |               | ambiente      |
|                                    |           |          | -                  | W/m <sup>2</sup> K | kJ/m <sup>2</sup> K | SC                 | Q1 | Q2 | SC            | Q1                 | Q2            |               |
| Requisitos a seres atendidos para: | Parede    | 15.575-4 | $\leq 0,6$         | $\leq 3,7$         | $> 130$             | $\geq 7\%$         |    |    | Sem exigência | Sem exigência      | Sem exigência | Sem exigência |
|                                    |           |          | $> 0,6$            | $\leq 2,5$         | $> 130$             |                    |    |    |               |                    |               |               |
|                                    |           | RTQ-R    | $\leq 0,6$         | $\leq 3,7$         | $> 130$             | $\geq 5\%$         |    |    | $\geq 0,25$   | 100%               | $\geq 50\%$   | $\geq 12,5\%$ |
|                                    |           |          | $> 0,6$            | $\leq 2,5$         | $> 130$             |                    |    |    |               |                    |               |               |
|                                    | Cobertura | 15.575-5 | $\leq 0,4$         | $\leq 2,3$         | n.a                 | n.a                |    |    | n.a           | n.a                | n.a           |               |
|                                    |           |          | $> 0,4$            | $\leq 1,5$         |                     |                    |    |    |               |                    |               |               |
|                                    |           | RTQ-R    | $\leq 0,4$         | $\leq 2,3$         | n.a                 | n.a                |    |    | n.a           | n.a                | n.a           |               |
|                                    |           |          | $> 0,4$            | $\leq 1,5$         |                     |                    |    |    |               |                    |               |               |

Sendo:

$\alpha$ : Absortância solar (admissional)

U: Transmitância Térmica (W/m<sup>2</sup>K)

CT: Capacidade Térmica (J/m<sup>2</sup>K)

SC: Sala-cozinha

Q1: Quarto 1

Q2: Quarto2

- Av: Percentual de abertura para ventilação em relação à área útil do ambiente de permanência prolongada (%), onde  $Av = (Avent / Au) \times 100$
- Avent: Área de abertura para ventilação (m<sup>2</sup>)
- Au: Área útil do ambiente (m<sup>2</sup>)
- Vc: Ventilação cruzada (admissional), onde  $Vc = (A2 / A1)$
- A1: Somatório das áreas efetivas de abertura para ventilação, localizadas na fachada da orientação com maior área de abertura para ventilação (m<sup>2</sup>), excluindo-se as portas de acesso principal e de serviço
- A2: Somatório das áreas efetivas de abertura para ventilação localizadas nas fachadas das demais orientações (m<sup>2</sup>), excluindo-se as portas de acesso principal e de serviço
- Af: Percentual de aberturas que permitem fechamento, em relação à quantidade de aberturas (%)
- Bv: Percentual de banheiros com ventilação natural em relação a quantidade de banheiros com excessão dos lavabos (%)
- Ai: Percentual de abertura para ventilação em relação à área útil do ambiente (%), onde  $Ai = (Ailum / Au) \times 100$
- Ailum: Área de abertura para iluminação natural (m<sup>2</sup>)
- n.a: não se aplica

---

Fonte: Elaboração da autora

Analisando-se comparativamente os critérios estabelecidos pelas duas normativas, verifica-se que ambas estabelecem os mesmos requisitos relativos às grandezas termo físicas dos fechamentos (paredes e coberturas), inclusive estabelecendo os mesmos valores. No que se refere à ventilação natural e à iluminação natural, os parâmetros são divergentes, mesmo o item Área de Ventilação (Av), que foi estabelecido pelas duas normativas, mas seguem níveis de exigência distintos.

Neste estudo, foram adotados os valores de ambas normativas para avaliação da HIS.

### **3.8.4 Simulação para avaliação da HISp , HISeT e HISeTPJ**

As simulações foram realizadas para HISp (padrão), bem como para HISeT e HISeTPJ (com as alterações de envoltória propostas), nas condições NV (obtendo-se temperatura máxima do dia típico de verão), NV (obtendo-se o indicador GH<sub>R</sub>) e HVAC (obtendo-se o indicador CR, consumo de energia e demanda). Este conjunto de simulações possibilitou a avaliação comparativa dos desempenhos termoenergéticos dos modelos.

#### **3.8.4.1 Desempenho térmico da HIS - temperatura interna máxima do dia típico de verão**

O procedimento de simulação estabelecido na NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a), propõe em sua metodologia, para a Zona Bioclimática 7 (ZB7), a avaliação do desempenho térmico por meio da verificação do cumprimento do requisito para desempenho no verão, de que as condições térmicas apresentadas no interior do edifício habitacional, sejam melhores ou iguais

às do ambiente externo, à sombra, para o dia típico de verão. O critério adotado foi que, o valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada (sala, cozinha e quartos), sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral), deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior.

O menor nível de desempenho considerado aceito é o mínimo (M), ou seja, a temperatura interna máxima dos ambientes de permanência prolongada no dia típico de verão (obtida por simulação computacional) deve ser menor ou igual à temperatura externa máxima do dia típico de verão.

De forma similar, a norma também prevê um requisito para o dia típico de inverno, estabelecendo que condições térmicas no interior do edifício habitacional sejam melhores que do ambiente externo. Esta avaliação não foi realizada, considerando que este procedimento deve ser realizado apenas para as Zonas Bioclimáticas 1 a 5.

A Tabela 12 apresenta a caracterização para os níveis de desempenho M (mínimo), I (intermediário) e S (superior).

**Tabela 12 - Níveis de desempenho Mínimo, Intermediário e Superior**

| Nível de desempenho | Critério para a Zona Bioclimática 7 |
|---------------------|-------------------------------------|
| M                   | $Te.máx \geq Ti.máx$                |
| I                   | $Te.máx - Ti.máx \geq 2$            |
| S                   | $Te.máx - Ti.máx \geq 4$            |

Sendo:

M: Nível de desempenho Mínimo

I: Nível de desempenho Intermediário

S: Nível de desempenho Superior

Te.máx: Temperatura externa máxima no dia típico de verão (°C)

Ti.máx: Temperatura interna (nos ambientes) máxima no dia típico de verão (°C)

Fonte: ABNT (2008)

Esta norma apresenta a localização geográfica e os dados climáticos correspondentes aos dias típicos de projeto de verão e de inverno, de algumas cidades brasileiras, a serem utilizados nas simulações computacionais. Cuiabá é uma dessas cidades, sendo informados vários dados, dentre os quais: latitude (15,55°S), longitude (56,12°O), altitude (151m), bem como, a temperatura máxima diária no dia típico de verão (37,8°C).

Analisando-se o arquivo climático de Cuiabá, verificou-se que dois dias (17/setembro e 15/outubro) possuem a temperatura máxima igual a 37,8°C. Este último foi adotado como dia típico de verão para o qual foram realizadas as avaliações de desempenho térmico.

Neste conjunto de simulações foram utilizados os modelos na condição naturalmente ventilada (NV) sem pessoas, ocupação e iluminação (PEI), sendo que os demais parâmetros estão detalhados no Apêndice A e apresentam-se em conformidade com a NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a).

Na composição de materiais para a simulação, foram utilizados dados das propriedades térmicas dos materiais construtivos, obtidos conforme a NBR 15.220-2 (ABNT, 2005a).

#### 3.8.4.2 Eficiência energética da HIS quando naturalmente ventilada (NV)

O RTQ-R estabelece o cálculo do EqNumEnv para cada ambiente (EqNumEnvAmb), em função de dois itens: (a) Equivalente Numérico da Envoltória do Ambiente para Resfriamento (EqNumEnvAmb<sub>Resfr</sub>) e (b) Equivalente Numérico da Envoltória do Ambiente para Aquecimento (EqNumEnvAmb<sub>A</sub>). Considerando-se que este último, não é adotado para a ZB7, o valor do EqNumEnvAmb é igual ao EqNumEnvAmb<sub>Resfr</sub> na referida ZB e, conseqüentemente, obtendo-se, neste estudo, a classificação de eficiência energética da HIS, de A a E (Tabela 13).

A metodologia compara o indicador graus-hora de resfriamento (GHR) de cada ambiente de permanência prolongada da habitação com os níveis de eficiência tabelados no RTQ-R (Tabela 13), obtendo-se Equivalente Numérico da Envoltória do Ambiente para Resfriamento (EqNumEnvAmb<sub>Resfr</sub>). Obteve-se EqNumEnv por meio da ponderação do EqNumEnvAmb<sub>Resfr</sub> pela área útil de cada ambiente.

**Tabela 13** - Equivalente Numérico da Envoltória do Ambiente (NV) - ZB7

| <b>Eficiência</b> | <b>EqNumEnvAmb</b> | <b>Condição</b>            |
|-------------------|--------------------|----------------------------|
| <b>A</b>          | 5                  | $GHR \leq 12.566$          |
| <b>B</b>          | 4                  | $12.566 < GHR \leq 18.622$ |
| <b>C</b>          | 3                  | $18.622 < GHR \leq 24.679$ |
| <b>D</b>          | 2                  | $24.679 < GHR \leq 30.735$ |
| <b>E</b>          | 1                  | $GHR > 30.735$             |

**Fonte:** Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - INMETRO (2012)

O indicador de GHR, obtido por meio da Equação (1) é o somatório da diferença entre a temperatura operativa horária (obtida pela simulação) e a temperatura de base, quando a primeira está acima da segunda. A temperatura de base estabelecida no RTQ-R para cálculo dos graus-hora de resfriamento é de 26°C.

$$GH_R = \sum (T_o - 26^\circ C) \quad (1)$$

Sendo:

$GH_R$ : indicador de graus-hora para resfriamento;

$T_o$ : temperatura operativa horária ( $^\circ C$ ).

Entende-se por Temperatura Operativa o valor médio entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média do ambiente (RTQ-R, 2012).

Neste conjunto de simulações foram utilizados os modelos na condição naturalmente ventilada (NV) com PEI, com a estratégia de ventilação controlada automaticamente durante as 24 horas diárias, através do critério de temperatura estabelecido pelo RTQ-R (INMETRO, 2012). Neste controle, a abertura de portas e janelas é acionada quando as seguintes condições forem atendidas: (a) temperatura interna do ambiente é maior que a temperatura externa e, (b) temperatura interna é maior que a temperatura de controle ( $20^\circ C$ ).

Os demais parâmetros estão detalhados no Apêndice A e apresentam-se em conformidade com o RTQ-R.

A classificação da eficiência energética da envoltória da HIS, pelo procedimento de simulação, foi realizada para (a) HIS sem intervenções na envoltória, na condição NV, para as orientações solares Norte, Sul, Leste e Oeste, verificando-se comparativamente a classificação para cada orientação solar e, (b) HISp (direção Sul) com os dois tipos de intervenção (HISeT e HISeTPJ) na condição NV, verificando-se comparativamente a classificação em função dessas intervenções.

#### ***3.8.4.3 Eficiência energética da HIS quando condicionada artificialmente (HVAC) e projeção de economia para habitações do PMCMV***

A metodologia compara o Consumo relativo para refrigeração ( $C_R$ ) dos ambientes de permanência prolongada da habitação com os níveis de eficiência da Tabela 14, obtendo-se o  $EqNumEnv_{Refrig}$  e a classificação da eficiência energética da envoltória dos ambientes condicionados artificialmente.

**Tabela 14** - Equivalente Numérico da Envoltória do Ambiente (HVAC) - ZB7

| <b>Eficiência</b> | <b>EqNumEnvAmb</b> | <b>Condição</b>           |
|-------------------|--------------------|---------------------------|
| <b>A</b>          | 5                  | $CR \leq 34,483$          |
| <b>B</b>          | 4                  | $34,483 < CR \leq 52,805$ |
| <b>C</b>          | 3                  | $52,805 < CR \leq 71,126$ |
| <b>D</b>          | 2                  | $71,126 < CR \leq 89,448$ |
| <b>E</b>          | 1                  | $CR > 89,448$             |

Fonte: INMETRO (2012).

Para a obtenção desse indicador realizou-se as simulações na condição condicionada artificialmente (HVAC) com PEI, obtendo-se o Consumo relativo de energia para refrigeração ( $C_R$ ) dos dormitórios, no período das 21 às 8h, mantendo-se a temperatura de 24°C. No período restante, considerou-se a edificação naturalmente ventilada (NV), com a estratégia de ventilação controlada automaticamente através do critério de temperatura, com termostato programado em 20°C.

As simulações na condição HVAC (condicionada artificialmente) foram realizadas considerando-se dois condicionadores de ar (um em cada quarto), em função de pesquisa de campo realizada *in loco*, 6 meses após a entrega do conjunto habitacional aos seus proprietários, com o objetivo de constatar quantos condicionadores de ar foram instalados nas 472 habitações. Constatou-se que mais de 20% das unidades habitacionais possuíam, pelo menos, um condicionador de ar.

O nível de eficiência da envoltória quando condicionada artificialmente é de caráter informativo. A obtenção do nível A de eficiência nesta situação é obrigatória para obtenção de bonificação para condicionamento de ar.

O consumo estimado de energia elétrica, necessário para a refrigeração dos ambientes condicionados artificialmente nas condições estabelecidas no RTQ-R, foi obtido pela simulação (subtraindo-se os consumos referentes à iluminação e aos equipamentos, do consumo estimado total). O Consumo relativo de energia elétrica para refrigeração de cada HIS, através do qual se obteve a classificação da eficiência energética da envoltória condicionada artificialmente, foi obtido dividindo-se o consumo estimado para a refrigeração pela área dos ambientes condicionados artificialmente.

Por meio de simulações da HISp (direção Sul) com os dois tipos de intervenção (HISeT e HISeTPJ) na condição HVAC, verificou-se comparativamente a classificação em função destas intervenções, avaliou-se o Consumo Relativo de energia elétrica para refrigeração ( $C_R$ ), obtendo-se a classificação do nível de eficiência energética (de A a E),

conforme Procedimento de simulação estabelecido no RTQ-R, bem como o consumo de energia elétrica e a demanda de potência ativa da habitação.

Os consumos de energia elétrica e a demanda de potência ativa, resultantes das simulações computacionais dos modelos estudados (HISp, HISeT e HISeTPJ) foram adotados como o consumo e demanda de uma unidade consumidora (UC) representativa de cada modelo, a saber:

- a) CM-1: Consumo mensal representativo da HISp;
- b) CM-2: Consumo mensal representativo da HISeT;
- c) CM-3: Consumo mensal representativo da HISeTPJ;
- d) CA-1: Consumo anual representativo da HISp;
- e) CA-2: Consumo anual representativo da HISeT;
- f) CA-3: Consumo anual representativo da HISeTPJ.
- g) D-1: Demanda máxima mensal no ciclo de um ano da HISp;
- h) D-2: Demanda máxima mensal no ciclo de um ano da HISeT;
- i) D-3: Demanda máxima mensal no ciclo de um ano da HISeTPJ;

Com o objetivo de verificar a coerência entre o consumo de energia elétrica de referência resultante da simulação e o real das unidades habitacionais, efetuou-se um levantamento de dados junto à concessionária de distribuição de energia elétrica em Mato Grosso (Centrais Elétricas Matogrossenses S/A - CEMAT), por meio do qual se obteve o histórico de consumo de um ano (novembro de 2013 a outubro de 2014), das 472 unidades consumidoras (UC) que compreendem o conjunto habitacional onde está localizada a HIS, objeto deste estudo.

Para cada UC, a partir do histórico dos consumos mensais no período citado (um ano), calculou-se a média anual dos consumos mensais. O consumo médio mensal geral foi calculado por meio da média anual dos consumos mensais das 472 UC, sendo obtido o valor de 158kWh/mês. O referido consumo mensal de energia elétrica foi comparado com o consumo mensal de referência resultante da simulação computacional da HISp, para a verificação da aderência do modelo à realidade.

Conforme pesquisa de campo junto a Caixa Econômica Federal, o Programa Minha Casa Minha Vida, entregou 33.454 novas habitações de interesse social em Mato Grosso, dentre elas, 13.437 em Cuiabá e Várzea Grande (município vizinho de Cuiabá).

Esses valores serviram de base para as seguintes projeções de estimativas de consumo de referência e de demanda de referência:

- a) para as 472 UC do conjunto residencial onde se localiza o objeto de estudo;
- b) para as 13.437 habitações construídas pelo Programa Minha Casa Minha Vida, em Cuiabá-Várzea Grande, entre os anos de 2009 e 2013.

Complementarmente, o consumo de energia elétrica de referência e a demanda de potência de referência resultantes da simulação computacional dos modelos estudados HISp e HISeT, foram utilizados para a avaliação de Relação do Custo-Benefício de um projeto de eficiência energética para implementação das intervenções da envoltória proposta.

A análise da Relação Custo-Benefício não foi realizada para HISeTPJ uma vez que as intervenções requeridas exigiriam alterações em nível de projeto, sendo mais aplicáveis para novos empreendimentos.

### 3.8.5 Classificação final da HISp , HISeT e HISeTPJ

A metodologia proposta pelo RTQ-R (INMETRO, 2012) para classificação final do nível de eficiência energética de cada HIS compara a Pontuação Total (PT) Equação (2), com os valores estabelecidos na Tabela 17. A referida equação considera a distribuição de pesos por meio dos coeficientes da Tabela 15, de acordo com a região geográfica na qual a edificação se localiza.

$$PT_{HIS} = (a \times EqNumEnv) + ((1 - a) \times EqNumAA) + Bonificações \quad (2)$$

Sendo:

$PT_{HIS}$ : Pontuação total do nível de eficiência da HIS

a: Coeficiente adotado de acordo com a região geográfica da HIS

EqNumEnv: Equivalente numérico de desempenho da envoltória da HIS

EqNumAA: Equivalente numérico do sistema de aquecimento de água da HIS

Bonificações: Pontuação atribuída a iniciativas que aumentam a eficiência energética da HIS

**Tabela 15** - Coeficientes da Equação de Pontuação do nível de eficiência energética

| Coeficiente | Região Geográfica |          |              |         |      |
|-------------|-------------------|----------|--------------|---------|------|
|             | Norte             | Nordeste | Centro-Oeste | Sudeste | Sul  |
| a           | 0,95              | 0,9      | 0,65         | 0,65    | 0,65 |

Fonte: INMETRO (2012)

O RTQ-R estabelece um procedimento para o cálculo do Equivalente Numérico de Aquecimento de Água (EqNumAA), para os casos nos quais a habitação em estudo apresente

o sistema de aquecimento de água instalado. Determina ainda que, nos casos em que o referido sistema não seja instalado, deve-se considerar o valor de EqNumAA igual a: (a) 2 (dois), ou seja, nível D: nas habitações das Regiões Norte e Nordeste e (b) 1 (um), ou seja, nível E: nas habitações das demais regiões geográficas.

A atribuição de pontuações para as bonificações foi feita de acordo com os critérios estabelecidos pelo RTQ-R que prevê oito possibilidades de pontuação, em função das iniciativas para aumento da eficiência da edificação via Equação (3).

$$\text{Bonificações} = b1 + b2 + b3 + b4 + b5 + b6 + b7 + b8 \quad (3)$$

Sendo:

- b1: Bonificação referente à ventilação natural
- b2: Bonificação referente a à iluminação natural
- b3: Bonificação referente ao uso racional de água
- b4: Bonificação referente ao condicionamento artificial de ar
- b5: Bonificação referente à iluminação artificial
- b6: Bonificação referente ventiladores de teto instalados
- b7: Bonificação referente refrigeradores instalados
- b8: Bonificação referente à medição individualizada

A seguir apresentam-se as possibilidades previstas na normativa, destacando-se as passíveis de pontuação para as HIS estudadas.

**Tabela 16 - Bonificações**

| Bonificação | Descrição / subdivisão   | Pontuação |                               |              |
|-------------|--|-----------|-------------------------------|--------------|
|             |  | Obtida?   | Valor máximo possível do item | Valor obtido |
| b1:         | <u>Ventilação Natural</u><br>Subdividida em 4 itens:   | Parcial   | 0,40                          | 0,12         |
|             | 1) Porosidade (Po) mínima de 20% em pelo menos duas fachadas de diferentes orientações solares, sendo:<br>Po = ATAV <sub>NSLO</sub> / ATF <sub>NSLO</sub> , onde:<br>- ATAV <sub>NSLO</sub> = área total de abertura para ventilação em cada fachada (orientações NSLO);<br>- ATF <sub>NSLO</sub> = área da fachada em cada orientação (NSLO). | SIM       | 0,12                          | 0,12         |
|             | 2) Utilização de dispositivos especiais, tais como persianas móveis  | NÃO       | 0,16                          | 0            |
|             | 3) Centro geométrico das janelas entre 0,4 e 0,7m, medidos à partir do piso  | NÃO       | 0,06                          | 0            |
|             | 4) Para ZB8: portas com aberturas intermediárias de pelo menos 30% (quando estiver fechada), sendo passível de fechamento  | NÃO       | 0,06                          | 0            |

Continuação Tabela 16

|            |  |         |      |      |
|------------|--|---------|------|------|
| <b>b2:</b> | <b>Iluminação Natural</b><br>Subdividida em 2 itens:   | Total   | 0,30 | 0,30 |
|            | 1) Profundidade máxima (P) na maioria dos ambientes de acordo com:<br>P ≤ 2,4 ha, onde:<br>- P = profundidade do ambiente (m);<br>- ha = distância medida entre o piso e a altura máxima da abertura para iluminação (m) | SIM     | 0,20 | 0,20 |
|            | 2) Refletância do teto de cada ambiente ≥ 60%  | SIM     | 0,10 | 0,10 |
| <b>b3:</b> | <b>Uso racional de água:</b><br>Deve possuir combinação de sistemas de uso de água de chuva e equipamentos economizadores  | NÃO     | 0,20 | 0    |
| <b>b4:</b> | <b>Condicionamento artificial de ar:</b><br>A envoltória da habitação e os aparelhos condicionadores de ar devem possuir nível de eficiência A.  | NÃO     | 0,20 | 0    |
| <b>b5:</b> | <b>Iluminação artificial:</b><br>Subdividida em 2 possibilidades:  | Parcial | 0,10 | 0,10 |
|            | 1) Possuir 50% das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75lm/W ou Selo PROCEL em todos os ambientes   | SIM     | 0,05 | 0    |
|            | 2) Possuir 100% das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75lm/W ou Selo PROCEL em todos os ambientes  | NÃO     | 0,10 | 0,10 |
| <b>b6:</b> | <b>Ventilador de teto:</b><br>Nas ZB 2 a 8: Possuir ventiladores de teto com Selo PROCEL instalados em 2/3 (dois terços) dos ambientes de permanência prolongada.  | NÃO     | 0,10 | 0,10 |
| <b>b7:</b> | <b>Refrigeradores instalados:</b><br>Possuir instalados refrigeradores com ENCE A ou Selo PROCEL e garantir as condições adequadas de instalação conforme recomendação do fabricante.                                    | NÃO     | 0,10 | 0    |
| <b>b8:</b> | <b>Medição individualizada:</b><br>Possibilitar medição individualizada, caso tenha sistema de aquecimento de água e, o mesmo, seja compartilhado com mais de uma habitação.   | NÃO     | 0,10 | 0    |
| <b>b</b>   | <b>Bonificação total obtida:</b><br>Obs: A pontuação máxima em bonificações a ser somada na Equação 2 é 1 (um ponto) (RTQ-R, 2012)   | parcial | 1    | 0,62 |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

Desta forma, para cada HIS estudada (HISp, HISeT e HISeTPJ), foi obtida a Pontuação Total (PT) através da Equação (2) e, a classificação de eficiência conforme Tabela 17, considerando-se:

- (a) Coeficiente a igual a 0,65, definido para a Região Centro-Oeste;
- (b) EqNumEnv para cada HIS obtido no item 3.8.4;

- (c) EqNumAA para cada HIS igual a 1 (um);
- (d) Bonificações (igual a 0,62).

O RTQ-R se baseia no Zoneamento Bioclimático Brasileiro para o estabelecimento da metodologia de cálculo e classificação de eficiência energética, estabelecendo equacionamento diferenciado para cada uma delas, englobando as especificidades das mesmas. De forma diversa, utiliza como critério a divisão geográfica para a definição do coeficiente “a” (utilizado na Equação (2)), bem como, o estabelecimento do valor igual a 1 (um) para o EqNumAA (na ausência de sistema de aquecimento de água).

Considerando-se que 35 das 39 cidades que pertencem a ZB7 (à qual pertence Cuiabá), são do Nordeste, também foi calculada a Pontuação Total (PT) das HIS estudadas, pela Equação (2), ajustando-se os valores de “a” e do EqNumAA, sendo adotados iguais aos da Região Nordeste, ou seja, 0,95 e 2, respectivamente. Os demais itens não foram alterados tendo sido utilizados seguintes valores:

- (a) Coeficiente (ajustado) a igual a 0,95;
- (b) EqNumEnv para cada HIS obtido no item 3.8.4;
- (c) EqNumAA (ajustado) para cada HIS igual a 2 (dois);
- (d) Bonificações (igual a 0,62).

**Tabela 17** - Classificação do nível de eficiência energética de acordo com a pontuação obtida

| Condição            | Eficiência | EqNum |
|---------------------|------------|-------|
| $PT \geq 4,5$       | A          | 5     |
| $3,5 \leq PT < 4,5$ | B          | 4     |
| $2,5 \leq PT < 3,5$ | C          | 3     |
| $1,5 \leq PT < 2,5$ | D          | 2     |
| $PT < 1,5$          | E          | 1     |

Fonte: INMETRO (2012).

### 3.9 CORRELAÇÃO ENTRE CONSUMO DE ENERGIA E TEMPERATURA INTERNA

Os resultados das simulações do consumo de energia elétrica e temperatura interna, realizadas para o ciclo de doze meses, consolidadas mensalmente para cada conjunto de estratégias proposto, foram avaliados comparativamente, evidenciando a correlação entre estas variáveis.

Para cada modelo estudado (HISp, HISeT e HISeTPJ) também foram elaboradas as seguintes análises, consolidadas para o ciclo anual:

a) o Consumo Mensal Médio (CMM): obtido pela média dos consumos mensais (no ciclo de um ano);

b) a Temperatura Mensal Média (TMM): obtida pela média das temperaturas internas médias mensais (no ciclo de um ano).

Os valores do CMM e da TMM da HISp, foram analisados comparativamente com os referidos valores (CMM e TMM) das HISeT e HISeTPJ, obtendo-se:

a) CMM(1-2): variação entre o CMM das HISp e HISeT;

b) CMM%(1-2): variação percentual entre o CMM das HISp e HISeT;

c) TMM(1-2): variação entre o TMM das HISp e HISeT;

d) TMM%(1-2): variação percentual entre o TMM das HISp e HISeT;

e)  $R^2$  (1-2): coeficiente de correlação linear entre CMM(1-2) e TMM(1-2);

f) Equação de correlação entre CMM(1-2) e TMM(1-2);

g) CMM(1-3): variação entre o CMM das HISp e HISeTPJ;

h) CMM%(1-3): variação percentual entre o CMM das HISp e HISeTPJ;

i) TMM(1-3): variação entre o TMM das HISp e HISeTPJ;

j) TMM%(1-3): variação percentual entre o TMM das HISp e HISeTPJ;

k)  $R^2$  (1-3): coeficiente de correlação linear entre CMM(1-3) e TMM(1-3);

l) Equação de correlação entre CMM(1-3) e TMM(1-3);

Adicionalmente, foram calculados os valores de CMM%1-2 e CMM%1-3 para a variação de um grau de temperatura interna.

### 3.10 RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO (RCB)

Dentre as possibilidades estudadas para tornar mais eficiente o modelo HISp, selecionou-se a HISeT, para avaliação da relação custo benefício (RCB), considerando-se os custos para implementação da alteração da envoltória (pintura no telhado) e os benefícios em termos de economia de energia e redução de demanda, em função da referida alteração.

O método adotado para a avaliação da RCB foi o estabelecido pela ANEEL para a avaliação de projetos de eficiência energética (EE) no âmbito do Programa de Eficiência Energética (PEE) das concessionárias de distribuição de energia elétrica. Em suas diretrizes, permite uma avaliação *ex ante*, que conta com valores estimados, na fase de definição, quando

se avaliam o custo e benefício baseado em análises de campo, experiências anteriores, cálculos de engenharia e avaliações de preços no mercado.

Na avaliação da racionalidade de um projeto de EE verifica-se se o benefício proporcionado é maior que aquele que haveria se o recurso tivesse sido empregado na expansão do sistema elétrico. Desta forma, o benefício apurado com a valoração da energia e da demanda reduzidas ao custo unitário marginal de expansão do sistema, deve ser pelo menos 25% maior que o custo do projeto, isto é, o projeto deve ter uma  $RCB \leq 0,8$  (ANEEL, 2013b).

Considerando-se o ponto de vista do sistema elétrico, a economia de energia e a redução de demanda podem ser valoradas pelo custo marginal de ampliação do sistema ou tarifa azul, ou tarifa do sistema de bandeiras tarifárias de energia, conforme estabelecido no Módulo 7 dos Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE) (ANEEL, 2013b). Este PROPEE definiu que, nos casos de projetos em consumidores de baixa tensão, deve-se adotar os custos da tarifa horária branca, sendo a mesma adotada neste estudo.

A avaliação econômica do projeto é feita por meio do cálculo da relação Custo-Benefício (RCB), dada pela Equação (4).

$$RCB = \frac{CA_T}{BA_T} \quad (4)$$

Sendo:

$CA_T$ : Custo anualizado total (R\$/ano);

$BA_T$ : Benefício anualizado (R\$/ano).

### 3.10.1 Custos Anualizados ( $CA_T$ )

O  $CA_T$  é dado pela somatória dos custos anualizado de cada equipamento, segundo a Equação (5).

$$CA_T = \sum_n CA_n \quad (5)$$

Sendo:

$CA_T$ : Custo anualizado total (R\$/ano);

$CA_n$ : Custo anualizado de cada equipamento incluindo custos relacionados (mão de obra, etc.) (R\$/ano).

O  $CA_n$  é obtido por meio da Equação (6), que considera o fator de recuperação de capital no período da vida útil do projeto:

$$CA_n = CE_n \times \frac{CT}{CE_T} \times FRC_u \quad (6)$$

Sendo:

$CA_n$ : Custo anualizado dos equipamentos incluindo custos relacionados (mão de obra, etc.) (R\$);

$CE_n$ : Custo de cada equipamento (R\$);

$CT$ : Custo total do projeto (R\$);

$CE_T$ : Custo total em equipamentos (R\$);

$FRC_u$ : Fator de recuperação do capital para u anos;

u: Vida útil dos equipamentos, em anos.

O  $CE_T$  é dado pela somatória dos custos de aquisição de cada equipamento, segundo a Equação (7).

$$CE_T = \sum_n CE_n \quad (7)$$

Sendo:

$CE_T$ : Custo total em equipamentos (R\$);

$CE_n$ : Custo de cada equipamento (R\$).

O FRC é um importante valor de referência para análise de retorno de investimentos e amortização de capital (empréstimos e financiamentos). Este fator está relacionado a estimativa do valor da parcela a ser debitada na fatura de energia elétrica da Unidade Consumidora beneficiada pela implantação do Projeto de Eficiência Energética em função da vida útil dos equipamentos utilizados. Considerando que se trata de parcelas de valor uniforme, e iguais, é obtido a partir da Equação (8).

$$FRC_u = \frac{i(1+i)^u}{(1+i)^u - 1} \quad (8)$$

Sendo:

$FRC_u$ : Fator de recuperação do capital para u anos;

i: Taxa de desconto considerada;

u: Vida útil dos equipamentos, em anos.

A taxa de desconto considerada é a mesma especificada no Plano Nacional de Energia ( $i=8\%$ ) e a vida útil dos equipamentos é adotada com base nos dados fornecidos pelo fabricante de cada equipamento.

### 3.10.2 Benefícios Anualizados ( $BA_T$ )

O cálculo dos benefícios anualizados é realizado por meio da Equação (9).

$$BA_T = (EE \times CEE) + (RDP \times CED) \quad (9)$$

Sendo:

$BA_T$ : Benefício anualizado (R\$/ano);

EE: Energia anual economizada (MWh/ano);

CEE: Custo unitário da energia evitada (R\$/MWh);

RDP: Demanda evitada na ponta (kW ano);

CED: Custo unitário evitado da demanda (R\$/kW ano).

O Custo Unitário Evitado de Demanda (CED) para projetos de eficiência em Baixa Tensão é calculado através da Equação (10), utilizando-se a tarifa Branca.

$$CED = (12 \times C_1 \times h_p \times F_c \times 10^{-3}) + (12 \times C_2 \times h_{fp} \times F_c \times 10^{-3} \times LP) \quad (10)$$

Sendo:

12: meses por ano

$C_1$ : Custo unitário do uso do Sistema de Distribuição no horário de ponta (R\$/MWh);

$C_2$ : Custo unitário do uso do Sistema de Distribuição no horário fora de ponta (R\$/MWh);

LP: Constante de perda de demanda no posto fora de ponta, considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta, conforme Tabela 18.

$h_p$ : Número de horas da ponta em um mês, considerando-se somente os dias úteis

$h_{fp}$ : Número de horas fora de ponta em um mês

$F_c$ : Fator de carga médio da distribuidora dos últimos 12 meses

O Custo Unitário da Energia Evitada (CEE) é dado pela Equação (11), para as constantes de distribuidoras que possuem o sistema de bandeiras tarifárias, utilizando-se a tarifa Branca. As Equações (12) e (13) apresentam perda de energia no horário de ponta e fora de ponta.

$$CEE = \frac{(C_p \times LE_p) + (C_{fp} \times LE_{fp})}{LE_p + LE_{fp}} \quad (11)$$

$$LE_p = \frac{(7 \times LE_1) + (5 \times LE_2)}{12} \quad (12)$$

$$LE_{fp} = \frac{(7 \times LE_3) + (5 \times LE_4)}{12} \quad (13)$$

Sendo:

CEE: Custo Unitário Evitado de Energia (R\$/MWh);

Cp: Custo unitário da energia no horário de ponta na bandeira verde (R\$/MWh);

Cfp: Custo unitário da energia no horário fora de ponta na bandeira verde (R\$/MWh);

LEp: Constante de perda de energia no posto de ponta considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta;

LEfp: Constante de perda de energia no posto de fora de ponta considerando 1kW de perda de demanda no horário fora de ponta;

LE1: Constante de perda de energia no posto de ponta de períodos secos considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta;

LE2: Constante de perda de energia no posto de ponta de períodos úmidos considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta;

LE3: Constante de perda de energia no posto fora de ponta de períodos secos considerando 1kW de perda de demanda no horário fora de ponta;

LE4: Constante de perda de energia no posto fora de ponta de períodos úmidos considerando 1kW de perda de demanda no horário fora de ponta.

As constantes de perda são listadas na Tabela 18.

Este método adotado pela ANEEL (2013b) baseia-se no cálculo do custo unitário de perdas técnicas no sistema elétrico, no qual a energia e a demanda economizadas (evitadas) correspondem a uma redução de perdas no sistema e o benefício “de evitar uma unidade de perdas é numericamente igual ao custo de fornecer uma unidade adicional de carga” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA - ABRADDEE, 1996).

O cálculo se baseia no impacto para o sistema elétrico da carga evitada, supondo-se um perfil de carga típico e caracterizado pelo Fator de Carga (FC). As perdas evitadas no sistema são calculadas a partir da redução de 1kW na ponta, seu reflexo na demanda fora de

ponta (LP) através do fator de carga e pelos fatores de perda (Fp), que levam ao cálculo de LE1, LE2, LE3 e LE4, juntamente com a permanência de cada posto horário no ano, sendo 450, 315, 4.686 e 3.309 h/ano, respectivamente, que medem o reflexo dessa redução no horário fora de ponta e na energia consumida nos 4 postos tarifários (seco e úmido, ponta e fora de ponta) (ANEEL, 2013b).

O fator de perda pode ser simulado através do fator de carga pela Equação (14).

$$F_p = k \times FC + (1 - k) \times FC^2 \quad (14)$$

Sendo:

k: varia tipicamente de 0,15 a 0,30. Recomenda-se adotar  $k = 0,15$ ;

FC: Fator de carga médio da distribuidora dos últimos 12 meses.

A Tabela 18 apresenta os coeficientes para  $k = 0,15$ , adotados neste estudo.

**Tabela 18** – Constantes de perda para  $k = 0,15$

| Fator de Carga (FC) | LP     | LE <sub>1</sub> | LE <sub>2</sub> | LE <sub>3</sub> | LE <sub>4</sub> |
|---------------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 0,30                | 0,2500 | 0,27315         | 0,19121         | 0,35166         | 0,24832         |
| 0,35                | 0,2809 | 0,28494         | 0,19946         | 0,52026         | 0,36738         |
| 0,40                | 0,3136 | 0,29727         | 0,20809         | 0,71014         | 0,50146         |
| 0,45                | 0,3481 | 0,31014         | 0,21710         | 0,92130         | 0,65057         |
| 0,50                | 0,3844 | 0,32355         | 0,22649         | 1,15375         | 0,81472         |
| 0,55                | 0,4225 | 0,33750         | 0,23625         | 1,40748         | 0,99389         |
| 0,60                | 0,4624 | 0,35199         | 0,24639         | 1,68249         | 1,18808         |
| 0,65                | 0,5041 | 0,36950         | 0,25865         | 1,97632         | 1,39557         |
| 0,70                | 0,5476 | 0,38516         | 0,26961         | 2,29381         | 1,61977         |

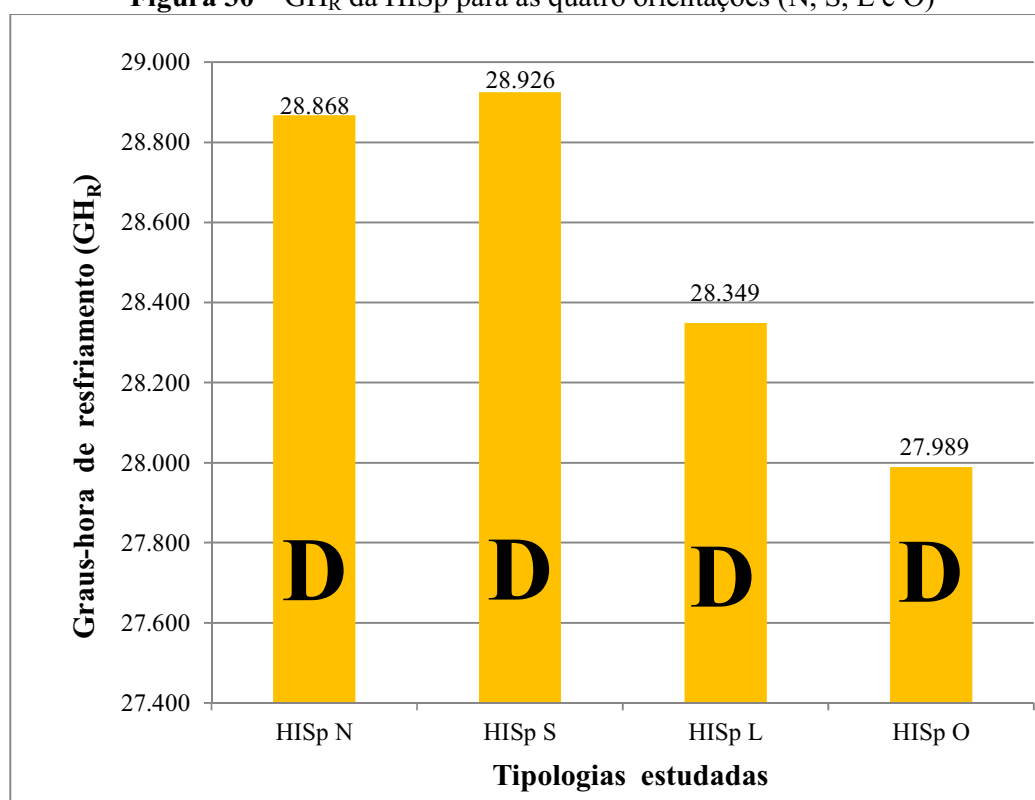
Fonte: ANEEL (2013b).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA - ORIENTAÇÃO DE IMPLANTAÇÃO

O indicador  $GH_R$  da HISp foi obtido para a implantação nas direções Norte, Sul, Leste e Oeste classificando-se como D a eficiência energética da envoltória das HISp para todas as orientações (Figura 30), sendo que, as orientações Sul e Oeste apresentaram resultados mais e menos desfavoráveis, respectivamente.

**Figura 30** –  $GH_R$  da HISp para as quatro orientações (N, S, L e O)



Fonte: Dados da pesquisa da autora

### 4.2 ATENDIMENTO DOS REQUISITOS DAS 15.575-4, 15.575-5 E RTQ-R

Os requisitos estabelecidos nas normas e regulamento constam da Tabela 19 sendo verificados, quanto ao seu atendimento, nas HISp, HISeT e HISeTPJ.

Com relação às paredes externas, verificou-se que as grandezas térmicas atendem a todos os requisitos. A cobertura do modelo HISp, por sua vez, não atendeu às grandezas térmicas requisitadas.

Tabela 19 - Avaliação dos requisitos

| HIS  | Grandezas térmicas       |                         |                           | Ventilação Natural                          |     |      |                          | Iluminação Natural                          |      |      | Resultado |      |     |
|------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|---|-----|------|--------------------------|---|------|------|-----------|------|-----|
|      | $\alpha$ (adm)           | U (W/m <sup>2</sup> .K) | CT (kJ/m <sup>2</sup> .K) | Área de Ventilação Natural/Área de piso (%) |     |      | Ventilação Cruzada (adm) | Área de Iluminação Natural/Área de piso (%) |      |      |           |      |     |
|      |                          |                         |                           | ambiente                                    |     |      |                          | ambiente                                    |      |      |           |      |     |
|      |                          |                         |                           | SC  | Q1  | Q2   |                          | SC  | Q1   | Q2   |           |      |     |
| p    | Avaliações da:<br>Parede | Valores obtidos         | 0,3                       | 2,55  | 137 | 7,98 | 6,10                     | 6,27  | 1,22 | 8,10 | 7,05      | 6,86 | -   |
|      |                          | Atende a 15.575-4?      | SIM                       |   | SIM | SIM  | NÃO                      | NÃO   | n.a. | n.a. |           |      | NÃO |
|      |                          | Atende ao RTQ-R?        | SIM                       |   | SIM | SIM  | SIM                      | SIM   | SIM  | NÃO  | NÃO       | NÃO  | NÃO |
|      | Cobertura                | Valores obtidos         | 0,8                       | 1,75  | n.a | n.a. |                          |   | n.a  | n.a  |           |      | -   |
|      |                          | Atende a 15.575-4?      | NÃO                       |   | -   | -    |                          |   | -    | -    |           |      | NÃO |
|      |                          | Atende ao RTQ-R?        | NÃO                       |   | -   | -    |                          |   | -    | -    |           |      | NÃO |
| eT   | Avaliações da:<br>Parede | Valores obtidos         | 0,3                       | 2,55  | 137 | 7,98 | 6,10                     | 6,27  | 1,22 | 8,10 | 7,05      | 6,86 | -   |
|      |                          | Atende a 15.575-4?      | SIM                       |   | SIM | SIM  | NÃO                      | NÃO   | n.a. | n.a. |           |      | NÃO |
|      |                          | Atende ao RTQ-R?        | SIM                       |   | SIM | SIM  | SIM                      | SIM   | SIM  | NÃO  | NÃO       | NÃO  | NÃO |
|      | Cobertura                | Valores obtidos         | 0,2                       | 1,18  | n.a | n.a. |                          |   | n.a  | n.a  |           |      | -   |
|      |                          | Atende a 15.575-4?      | SIM                       |   | -   | -    |                          |   | -    | -    |           |      | SIM |
|      |                          | Atende ao RTQ-R?        | SIM                       |   | -   | -    |                          |   | -    | -    |           |      | SIM |
| eTPJ | Avaliações da:<br>Parede | Valores obtidos         | 0,2                       | 2,55  | 137 | 7,98 | 6,10                     | 6,27  | 1,22 | 8,10 | 7,05      | 6,86 | -   |
|      |                          | Atende a 15.575-4?      | SIM                       |   | SIM | SIM  | SIM                      | SIM   | n.a. | n.a. |           |      | SIM |
|      |                          | Atende ao RTQ-R?        | SIM                       |   | SIM | SIM  | SIM                      | SIM   | SIM  | SIM  | SIM       | SIM  | SIM |
|      | Cobertura                | Valores obtidos         | 0,2                       | 1,18  | n.a | n.a. |                          |   | n.a  | n.a. |           |      | -   |
|      |                          | Atende a 15.575-4?      | SIM                       |   | -   | -    |                          |   | -    | -    |           |      | SIM |
|      |                          | Atende ao RTQ-R?        | SIM                       |   | -   | -    |                          |   | -    | -    |           |      | SIM |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

Em função da avaliação dos requisitos definidos, por ambas normativas, para as paredes verificou-se que o requisito ventilação natural foi atendido somente no modelo HISeTPJ. O requisito ventilação cruzada, estabelecido pelo RTQ-R, foi atendido nos três modelos (HISp, HISeT e HISeTPJ). A iluminação natural, exigida pelo RTQ-R foi atendido somente no modelo HISeTPJ.

Em função do não atendimento pelas HISp e HISeT a um ou mais requisitos das NBR 15.575-4 (ABNT, 2013b) e 15.575-5 (ABNT, 2013c), adotou-se o procedimento de simulação estabelecida na NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a), cujos resultados estão descritos no item 4.3.

Considerando-se o não atendimento pelas HISp e HISeT a um ou mais requisitos das do RTQ-R a classificação para a eficiência energética da envoltória fica limitada ao nível C.

A HISeTPJ atendeu a todos os requisitos das três normativas, não sendo exigida a aplicação do procedimento de simulação pela NBR-15.575-1, bem como não impondo limite para a classificação da eficiência energética pelo RTQ-R. Entretanto, foi realizada a simulação da HISeTPJ, com o objetivo de análise comparativa dos resultados com as demais HIS estudadas.

### **4.3 DESEMPENHO TÉRMICO À LUZ DA NBR 15.575-1 - MÉTODO DE SIMULAÇÃO**

O comportamento das temperaturas do ar (médias horárias) externas e internas às HISp, HISeT e HISeTPJ, no dia típico de verão (15 de outubro), foi obtido pela simulação do modelo, apresentando-se os resultados, de cada zona térmicas na condição NV, apresentados na Figura 31, Figura 32 e Figura 33.

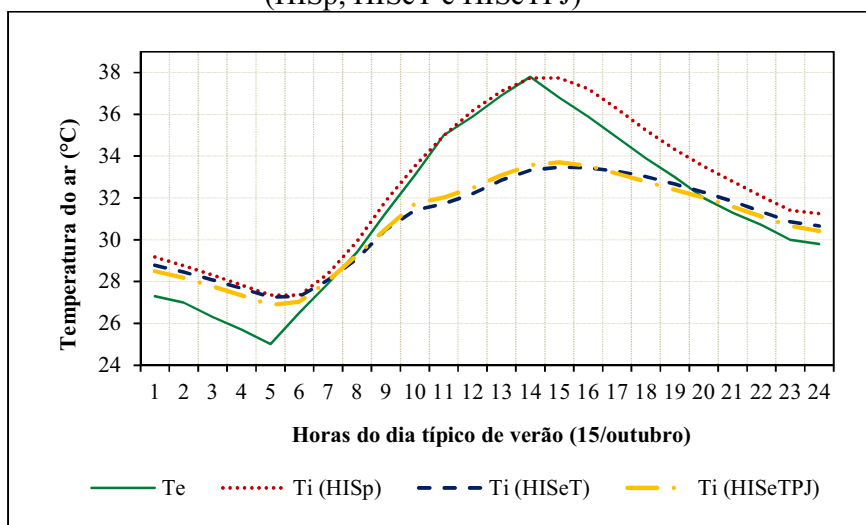
Analisando-se os referidos gráficos, verificou-se que:

a) HISp apresentou temperatura interna inferior à temperatura externa na sala-cozinha em 8% das horas do dia (às 11:00h e às 14:00h), no quarto 1 em 16% das horas do dia (de 11 às 14:00h) e, no quarto 2 em 20% das horas do dia (de 10 às 14:00h);

b) HISeT apresentou temperatura interna inferior à temperatura externa em 50% das horas do dia (de 8 às 19:00h) em todos os ambientes (sala-cozinha, quarto 1 e quarto 2);

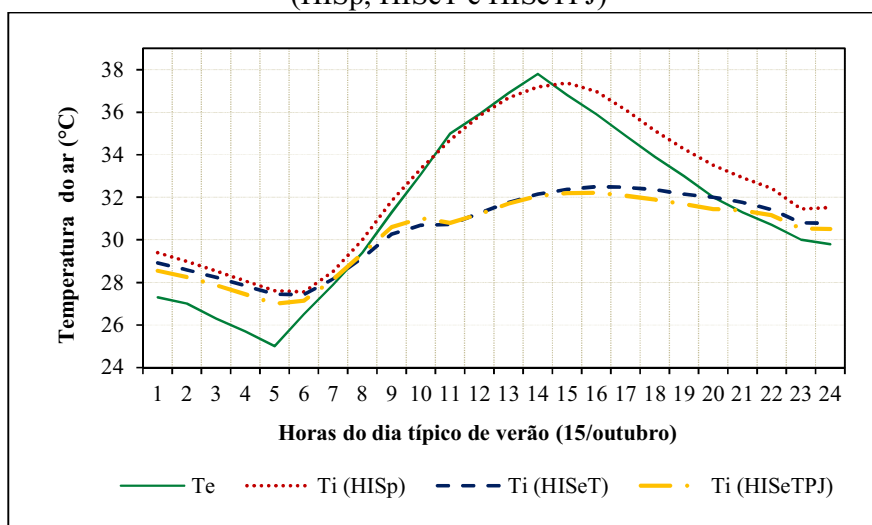
c) HISeTPJ apresentou temperatura interna inferior à temperatura externa na sala-cozinha em 50% das horas do dia (de 8 às 19:00h), no quarto 1 em 54% das horas do dia (de 8 às 20:00h) e, no quarto 2 em 58% das horas do dia (de 7 às 20:00h).

**Figura 31** - Temperaturas do ar (médias horárias) externas e internas na sala-cozinha (HISp, HISeT e HISeTPJ)



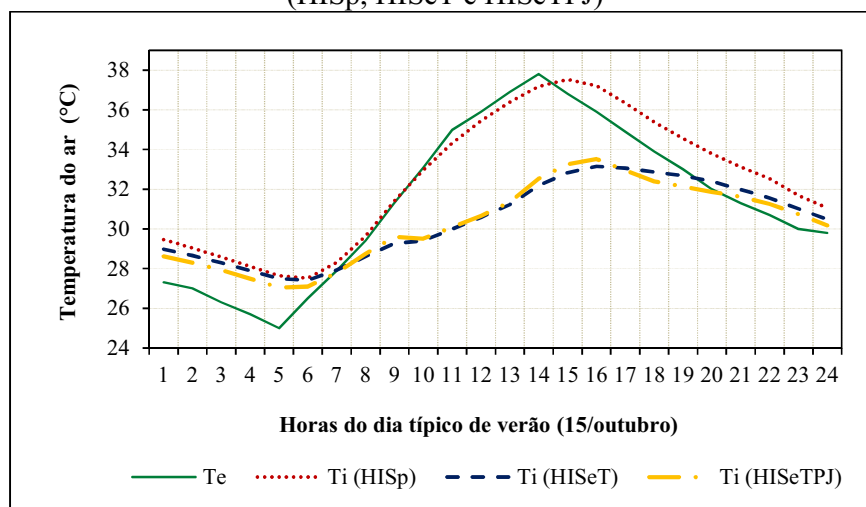
Fonte: Dados da pesquisa da autora

**Figura 32** - Temperaturas do ar (médias horárias) externas e internas no quarto (HISp, HISeT e HISeTPJ)



Fonte: Dados da pesquisa da autora

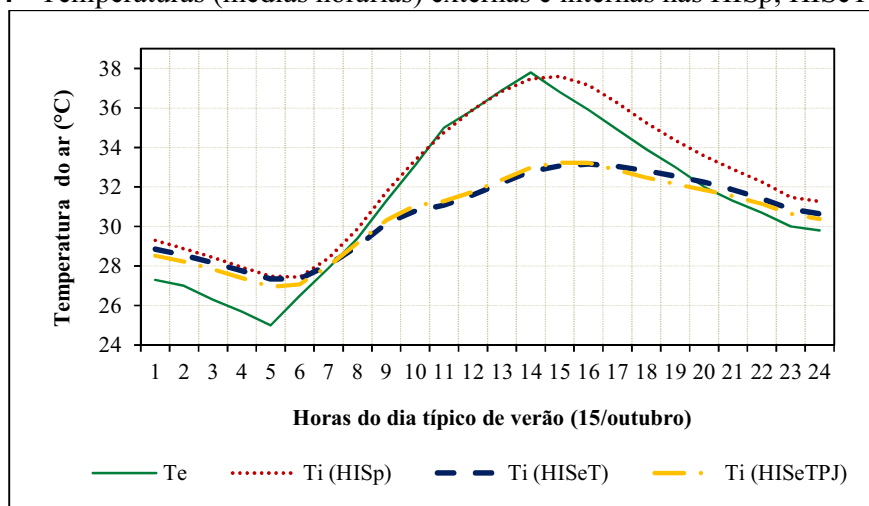
**Figura 33** - Temperaturas do ar (médias horárias) externas e internas no quarto 2 (HISp, HISeT e HISeTPJ)



Fonte: Dados da pesquisa da autora

A Figura 34 ilustra o comportamento das temperaturas do ar (médias horárias) externas e internas (HISp, HISeT e HISeTPJ), obtidas pela ponderação da temperatura horária de cada zona, pela respectiva área.

**Figura 34** - Temperaturas (médias horárias) externas e internas nas HISp, HISeT e HISeTPJ



Fonte: Dados da pesquisa da autora

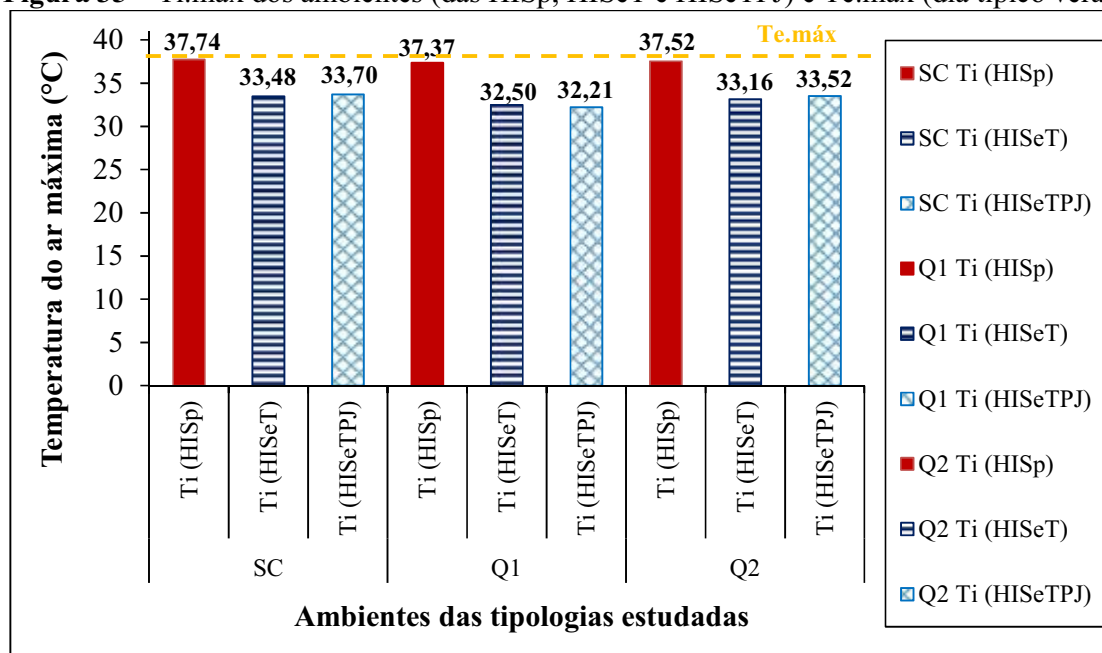
A temperatura máxima, obtida por meio de simulação na condição NV, para cada ambiente das HIS, possibilitou a seguinte avaliação do desempenho térmico, conforme apresentado na Tabela 20, na Figura 35 e na Figura 36:

- na HISp: M (mínimo) nos três ambientes (sala-cozinha, quarto 1 e quarto 2);
- na HISeT: S (superior) nos três ambientes (sala-cozinha, quarto 1 e quarto 2);
- na HISeTPJ: S (superior) nos três ambientes (sala-cozinha, quarto 1 e quarto 2).

**Tabela 20** - Resultados da simulação (Ti.máx) e avaliação do desempenho térmico

| HIS  | Valores obtidos nas simulações e Resultados das avaliações | Desempenho térmico (15.575-1)<br>(Naturalmente ventilada, sem PEI) |                   |                |               |                |               |                |             |                |
|------|--|--|-------------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|-------------|----------------|
|      |  | Te.máx (°C)  | sala-cozinha (SC) |                | quarto 1 (Q1) |                | quarto 2 (Q2) |                | HIS         |                |
|      |  |  | Ti.máx (°C)       | Diferença (°C) | Ti.máx (°C)   | Diferença (°C) | Ti.máx (°C)   | Diferença (°C) | Ti.máx (°C) | Diferença (°C) |
| p    | Valores  | 37,8   | 37,74             | 0,06           | 37,37         | 0,43           | 37,52         | 0,28           | 37,60       | 0,20           |
|      | Avaliações   | -  | M                 |                | M             |                | M             |                | M           |                |
| eT   | Valores  | 37,8   | 33,48             | 4,32           | 32,50         | 5,30           | 33,16         | 4,64           | 33,15       | 4,65           |
|      | Avaliações   | -  | S                 |                | S             |                | S             |                | S           |                |
| eTPJ | Valores  | 37,8   | 33,70             | 4,10           | 32,21         | 5,59           | 33,52         | 4,28           | 33,24       | 4,56           |
|      | Avaliações   | -  | S                 |                | S             |                | S             |                | S           |                |

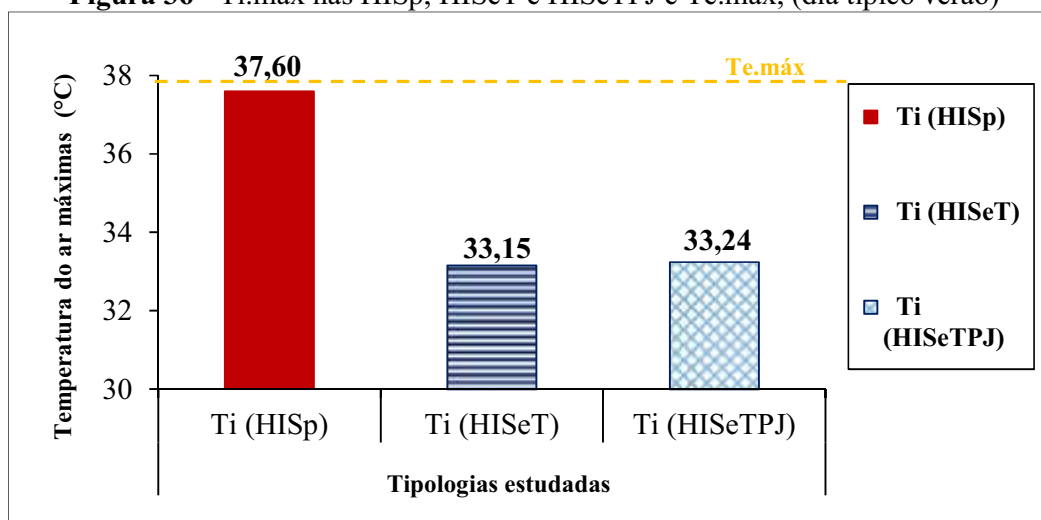
Fonte: Dados da pesquisa da autora

**Figura 35** – Ti.máx dos ambientes (das HISp, HISeT e HISeTPJ) e Te.máx (dia típico verão)

Fonte: Dados da pesquisa da autora

Avaliando-se a edificação de forma global, obteve-se a temperatura máxima interna na edificação no dia típico de verão (para HISp, HISeT e HISeTPJ), por meio da ponderação da temperatura máxima do ar (no dia 15/outubro) de cada zona, pela área do respectivo ambiente. Comparando-se este valor com o da temperatura máxima do ar externa (Te.máx) no referido dia, que é de 37,8°C, concluiu-se que o desempenho térmico é M para a HISp e S para as HISeT e HISeTPJ (Figura 36).

**Figura 36** -  $T_{i,max}$  nas HISp, HISeT e HISeTPJ e  $T_{e,max}$ , (dia típico verão)



#### 4.4 CLASSIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA HIS

##### 4.4.1 Eficiência energética da envoltória pelo $GH_R$ – simulação

Como resultado de cada simulação, na condição naturalmente ventilada (NV) com PEI, da HISpadrão, da HISeT e da HISeTPJ, o *EnergyPlus* gerou dois arquivos (.csv) contendo as temperaturas horárias, em cada ambiente de permanência prolongada da referida edificação, para um ano inteiro.

O indicador  $GH_R$  foi calculado para cada ambiente de permanência prolongada, obtendo-se a seguinte classificação para envoltória dos mesmos, conforme Tabela 21 e Figura 37:

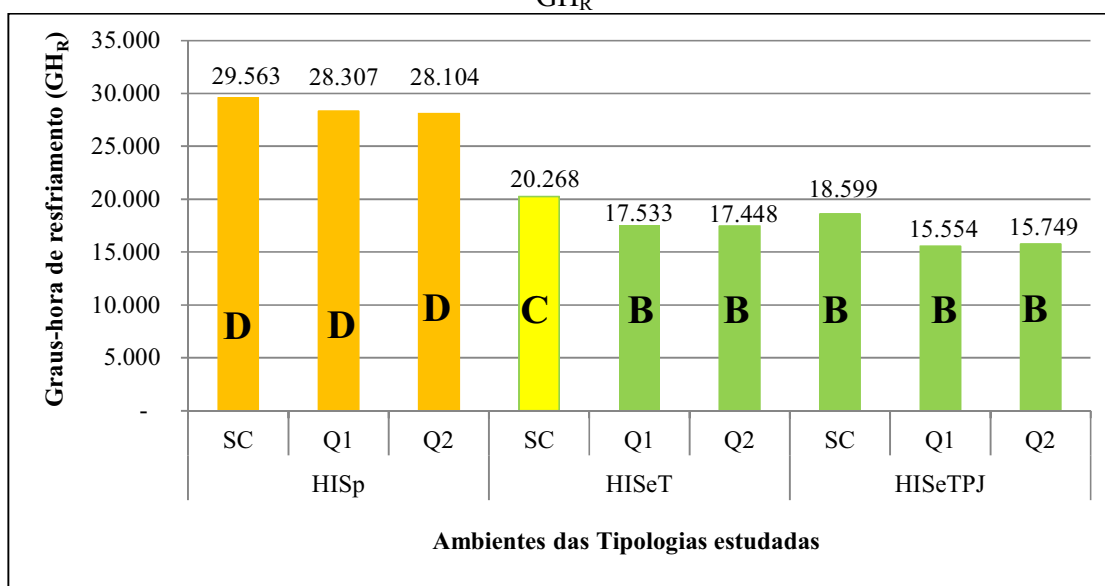
- na HISp: nível D para os três ambientes (sala-cozinha, quarto 1 e quarto 2);
- na HISeT: nível C para sala-cozinha e, nível B, para, quarto 1 e quarto 2;
- na HISeTPJ: nível B para os três ambientes (sala-cozinha, quarto 1 e quarto 2).

A classificação da envoltória de cada edificação como um todo foi obtida pela ponderação dos  $GH_R$  de cada ambiente pela área correspondente, para HISp, HISeT e HISeTPJ, resultando-se em níveis D, C e B, respectivamente, conforme Tabela 21 e Figura 38.

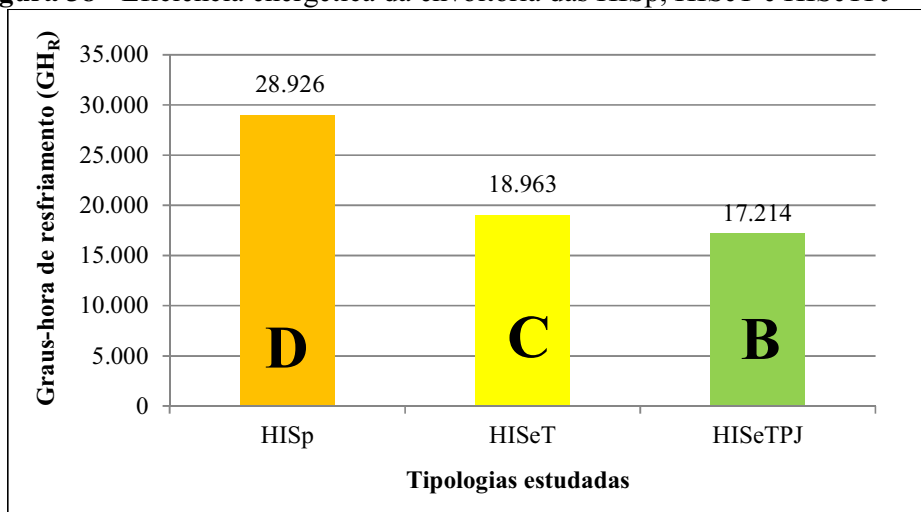
**Tabela 21** – Avaliação da eficiência energética

| HIS  | Valores obtidos nas simulações e Resultados das Avaliações |          | Eficiência energética (RTQ-R)<br>(Naturalmente ventilada, com PEI*) |   |               |   |               |   |        |   |
|------|--|----------|---|---|---------------|---|---------------|---|--------|---|
|      |  |          | GH <sub>R</sub>   |   |               |   |               |   |        |   |
|      |  |          | sala-cozinha (SC)   |   | quarto 1 (Q1) |   | quarto 2 (Q2) |   | HIS    |   |
| p    | Valores  |          | 29.563  |   | 28.307        |   | 28.104        |   | 28.926 |   |
|      | Classificação  | EqNumEnv | D   | 2 | D             | 2 | D             | 2 | D      | 2 |
| eT   | Valores  |          | 20.268  |   | 17.533        |   | 17.448        |   | 18.963 |   |
|      | Classificação  | EqNumEnv | C   | 3 | B             | 4 | B             | 4 | C      | 3 |
| eTPJ | Valores  |          | 18.599  |   | 15.554        |   | 15.749        |   | 17.214 |   |
|      | Classificação  | EqNumEnv | B   | 4 | B             | 4 | B             | 4 | B      | 4 |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

**Figura 37** – Eficiência energética da envoltória dos ambientes das HISp, HISeT e HISeTPJ - GH<sub>R</sub>

Fonte: Dados da pesquisa da autora

**Figura 38** - Eficiência energética da envoltória das HISp, HISeT e HISeTPJ - GH<sub>R</sub>

Fonte: Dados da pesquisa da autora

#### 4.4.2 Classificação da HIS segundo o RTQ-R

O resultado desta fase possibilitou a verificação da classificação de cada HIS conforme construída (HISp), bem como, avaliação comparativa das variações de classificação em consequência das alterações das variáveis da envoltória.

A classificação da eficiência energética da HIS nas três condições estudadas foram obtidas pela Equação (2), adotando-se os valores de “a” (igual a 0,65) e EqNumAA (1) estabelecido no RTQ-R para a Região Centro-Oeste, obtendo-se os seguintes resultados:

**Tabela 22** - Classificação da Eficiência Energética das HIS com parâmetros Centro-Oeste

| HIS     | PT   | Classificação da Eficiência Energética da HIS |
|---------|------|---|
| HISp    | 2,27 | D   |
| HISeT   | 2,97 | C   |
| HISeTPJ | 3,57 | B   |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

Adotando-se os valores do coeficiente “a” (ajustado) igual a 0,95 e EqNumAA (ajustado) igual a 2 (dois) foram obtidos, pela Equação (2), os seguintes resultados:

**Tabela 23** - Classificação da Eficiência Energética das HIS com parâmetros ajustados

| HIS     | PT   | Classificação |
|---------|------|---------------|
| HISp    | 2,62 | C             |
| HISeT   | 3,57 | B             |
| HISeTPJ | 4,52 | A             |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

#### 4.5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA PELO $C_R$ E PROJEÇÃO DE ECONOMIA DE ENERGIA PARA PMCMV

Como resultado das simulações das HISp, HISeT e HISeTPJ, na condição condicionada artificialmente (HVAC), gerou-se um arquivo que possui uma estimativa do consumo anual de cada habitação, em função dos padrões de densidade de carga e ocupação padronizados pelo RTQ-R (PEI), objetivando uma análise comparativa entre eles (Tabela 24).

**Tabela 24** - Resultados da simulação HVAC com parâmetros do RTQ-R

| HIS  | Consumo (kWh) | Demanda Máxima (kW) |
|------|---------------|---------------------|
| p    | 1.946,51      | 2,04                |
| eT   | 1.840,96      | 1,51                |
| eTPJ | 1.776,05      | 1,39                |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

Os consumos de energia elétrica (kWh/ano) e os valores de demanda de potência máxima anuais (kW) obtidos para as HISp, HISeT e HISeTPJ foram de 1.946,51 e 2,04, 1.840,96 e 1,51, 1.776,05 e 1,39, respectivamente. Desta forma, pode-se evidenciar a maior eficiência energética do modelo HISeTPJ.

A partir do consumo anual simulado para a HISp, (1.946,51kWh/ano) obteve-se a média mensal de consumo (162,20kWh/mês) que foi comparado com a média mensal geral obtida do histórico de consumo real (158,00kWh/mês) fornecido pela CEMAT, demonstrando que o método e a parametrização adotados (simulação) refletem o modelo no caso real.

O Consumo relativo de energia elétrica para refrigeração ( $C_R$ ) de cada HIS, por meio do qual se obteve a classificação da eficiência energética da envoltória condicionada artificialmente, é apresentado na Tabela 25 e na Figura 39.

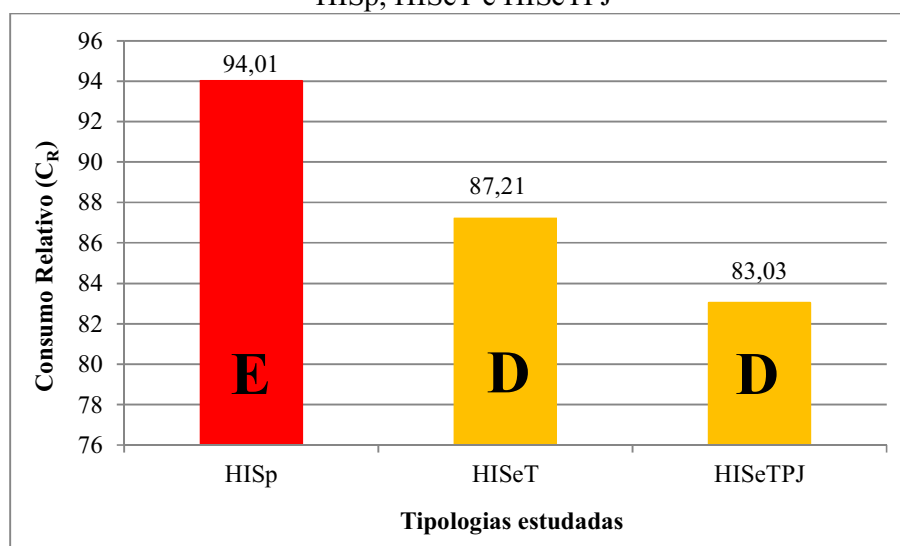
Os valores obtidos de  $C_R$  (em kWh/m<sup>2</sup>) para as tipologias estudadas foram de 94,01, 87,21 e 83,03, correspondentes aos modelos da HIS padrão (HISp), da HIS mais eficiente, com pintura tinta térmica na cobertura (HISeT) e da HIS mais eficiente, com pintura na cobertura e paredes externas, com alteração das janelas (HISeTPJ), que as classificam em “E”, “D” e “D”, respectivamente.

**Tabela 25** - Consumo relativo para refrigeração ( $C_R$ ) e Classificação da eficiência energética da envoltória de ambientes condicionados artificialmente

| HIS  | Valores obtidos nas simulações e Resultados das Avaliações | Eficiência energética (RTQ-R) (Condicionada artificialmente) |                             |
|------|--|--|-----------------------------|
|      |  | Consumo para refrigeração (kWh)                              | $C_R$ (kWh/m <sup>2</sup> ) |
| p    | Valor  | 1.459,96   | 94,01                       |
|      | Classificação  | n.a.   | <b>E</b>                    |
| eT   | Valor  | 1.354,41   | 87,21                       |
|      | Classificação  | n.a.   | <b>D</b>                    |
| eTPJ | Valor  | 1.289,50   | 83,03                       |
|      | Classificação  | n.a.   | <b>D</b>                    |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

**Figura 39** - Classificação da envoltória dos ambientes condicionados artificialmente nas HISp, HISeT e HISeTPJ



Fonte: Dados da pesquisa da autora

O RTQ-R destaca que  $C_R$  é informativo, indicando a estimativa de consumo na habitação com um padrão fixo de utilização de equipamentos consumidores de energia elétrica, objetivando a análise comparativa com valores estabelecidos pelo método.

A partir do consumo de energia elétrica mensal representativo de cada modelo (HISp, HISeT e HISeTPJ), ou seja, CM-1, CM-2 e CM-3 foram 162,21, 153,41 e 148,00kWh/mês, respectivamente, estabeleceu-se consumo anual para representativo (CA-1, CA-2 e CA-3) igual a 1.946,51, 1.840,96 e 1.776,05kWh/ano.

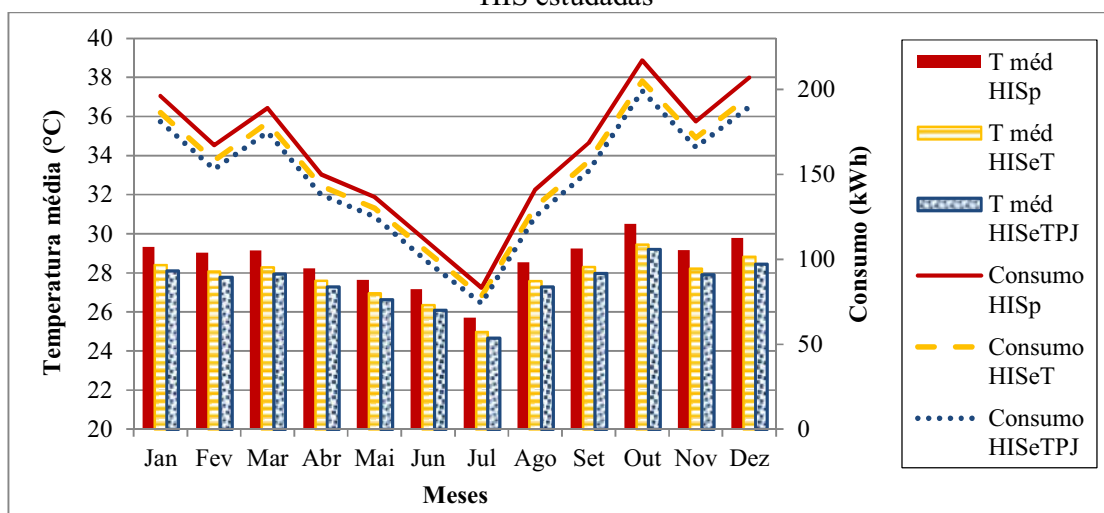
Considerando esses consumos de referência anuais, foram realizadas projeções de consumo para o conjunto habitacional, que possui 472 UC, para os três cenários (HISp, HISeT e HISeTPJ), sendo obtidos os valores 918.752,72, 868.933,12 e 838.295,60kWh/ano, respectivamente.

Complementarmente, as projeções de consumo para as 13.437 habitações construídas pelo Programa Minha Casa Minha Vida, em Cuiabá-Várzea Grande, entre os anos de 2009 e 2013, para os três cenários (HISp, HISeT e HISeTPJ) foi de 26.155.254,87, 24.736.979,52 e 23.864.783,85kWh/ano

#### 4.6 CORRELAÇÃO ENTRE A VARIAÇÃO DA TEMPERATURA INTERNA E DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

As médias mensais de consumo de energia elétrica para cada um dos modelos (HISp, HISeT e HISeTPJ) foram consolidadas na Figura 40, em conjunto com as temperaturas médias mensais dos mesmos, objetivando a análise comparativa entre elas.

**Figura 40** - Comportamento das temperaturas internas e dos consumos de energia elétrica das HIS estudadas



Fonte: Dados da pesquisa da autora

Verificou-se que as duas variáveis estudadas (consumo de energia elétrica e temperatura interna) apresentam comportamentos semelhantes, ou seja, nos meses em que a temperatura interna apresentou menores valores, também ocorreu menor consumo de energia elétrica e, nos meses em que a temperatura interna apresentou maiores valores, também ocorreu maior consumo de energia elétrica.

No mês de julho, foram constatados os picos mínimos para as temperaturas e consumos de energia de (25,72°C e 83,27kWh), (24,98°C e 78,07kWh) e (24,67°C e 74,06kWh) para os modelos HISp, HISeT e HISeTPJ, respectivamente.

No mês de outubro, foram verificados os picos máximos para as temperaturas e consumos de energia de (30,51°C e 216,93kWh), (29,45°C e 204,88kWh) e (29,22°C e 199,18kWh) para os modelos HISp, HISeT e HISeTPJ, respectivamente.

Também foi observado que em todos os meses, o consumo de energia elétrica e a temperatura interna da HISp apresentaram valores maiores que os outros dois modelos mais eficientes, sendo que o HISeTPJ apresentou os menores valores dentre os três modelos estudados.

As variações percentuais, do consumo de energia elétrica e da temperatura interna, entre HISp e HISeT, bem como, entre HISp e HISeTPJ, foram calculados, sendo obtidos os valores da Tabela 26.

**Tabela 26** - Variações percentuais do consumo de energia elétrica e da temperatura

| <b>Modelos comparados</b> | <b>CMM%</b>    | <b>TMM%</b>    |
|---------------------------|----------------|----------------|
| HISp e HISeT              | CMM%1-2 = - 5% | TMM%1-2 = - 3% |
| HISp e HISeTPJ            | CMM%1-3 = - 9% | TMM%1-3 = - 4% |

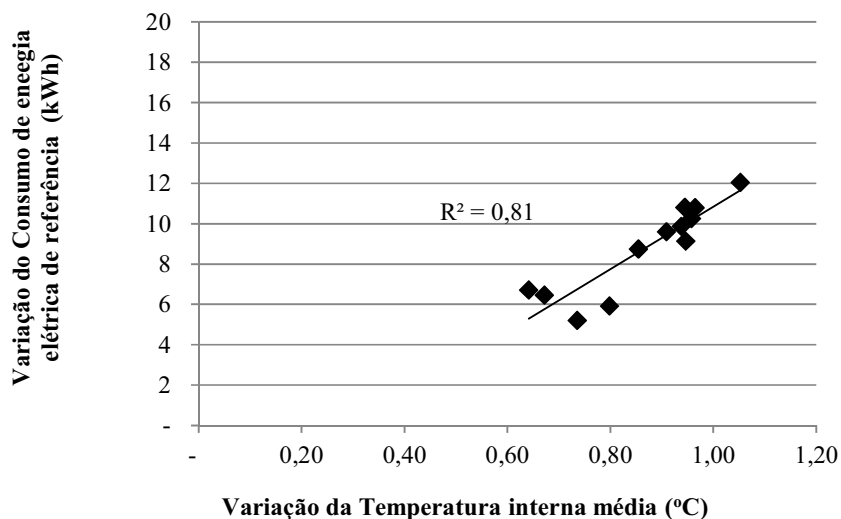
Fonte: Dados da pesquisa da autora

As variáveis consumo de energia elétrica e temperatura interna, apresentaram redução comparando-se a HISp com as duas mais eficientes (HISeT e HISeTPJ). Esses resultados refletiram nas variações percentuais calculadas, sendo observado que a maior redução, em termos percentuais, foi entre HISp e HISeTPJ, tanto para o consumo de energia (-9%), quanto para a temperatura interna (-4,10%).

A análise de correlação linear entre as variações CMM(1-2) e TMM(1-2) resultou em coeficiente igual a 0,81 (correlação positiva e forte - Figura 41) obtendo-se a Equação 15, verificando-se que, no caso de redução de um grau na TM, obtêm-se a economia de 10,85kWh por mês (que equivale a redução de 7,1% do CM em relação ao modelo padrão - HISbase).

$$CMM(1 - 2) = (15,475 \times TMM(1 - 2) - 4,6284) \quad (15)$$

**Figura 41** - Correlação Linear entre CMM(1-2) e TMM(1-2)

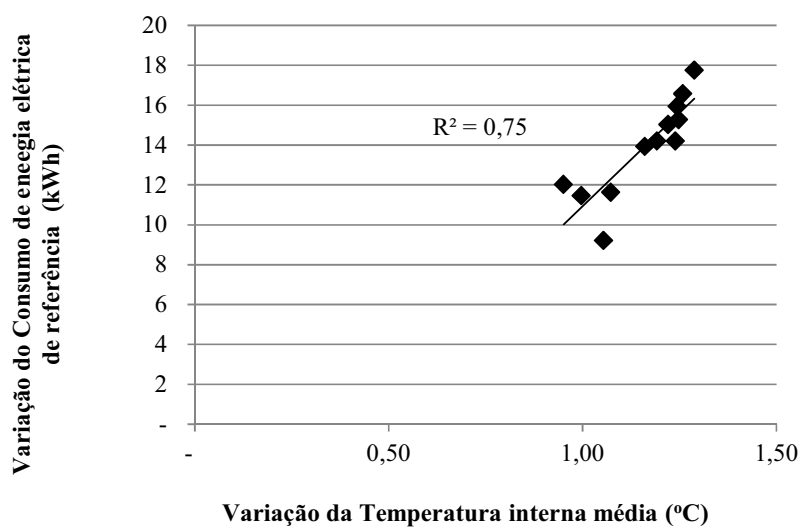


Fonte: Dados da pesquisa da autora

A análise de correlação linear entre as variações CMM(1-3) e TMM(1-3) resultou em coeficiente igual a 0,75 (correlação positiva e forte - Figura 42) obtendo-se a Equação 16, verificando-se que, no caso de redução de um grau na TM, obtêm-se a economia de 10,95kWh por mês (que equivale a redução de 7,4% do CM em relação ao modelo padrão - HISbase).

$$CMM(1 - 3) = (18,67 \times TMM(1 - 3) - 7,7226) \quad (16)$$

**Figura 42** - Correlação Linear entre CMM(1-3) e TMM(1-3)



Fonte: Dados da pesquisa da autora

Evidencia-se, desta forma, a influência dos materiais da envoltória da habitação no consumo de energia elétrica nos modelos HISeT e HISeTPJ, sendo estabelecidas as equações de correlação entre consumo de energia elétrica e temperatura interna da edificação.

## 4.7 RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO (RCB)

Os cálculos foram realizados utilizando-se a metodologia definida pela ANEEL para Projetos de Eficiência Energética no âmbito do Programa de Eficiência Energética, obtendo-se os resultados descritos em 4.7.1.

### 4.7.1 RCB da HISeT em relação à HISp

#### 4.7.1.1 Cálculo dos Custos Anualizados (CAT)

A ANEEL exige que todo o projeto seja orçado, sendo seus custos apresentados de forma anualizada em função da vida útil do projeto. O orçamento dessa proposta de projeto envolve, basicamente, os custos de aquisição da tinta térmica, da mão de obra para limpeza e pintura das telhas e, da logística.

a) Custo da Tinta Térmica: a tinta adotada foi a Metalatex Eco Telha Térmica da Sherwin Williams. Este produto apresenta rendimento entre 140 a 180m<sup>2</sup> por demão, para cada lata de 18 litros, sendo adotado o rendimento médio de 160m<sup>2</sup>, conforme especificado na ficha técnica do produto (SHERWING WILLIAMS, 2014). A aplicação do produto é executada em duas demãos sobre a superfície limpa e seca, conforme recomendação do fabricante, sendo necessárias 356 latas, conforme Tabela 27, cujo preço foi cotado, entregue em Cuiabá, no valor de R\$ 221,00 por lata de 18 litros.

**Tabela 27 - Quantidade de tinta**

| HIS          | Área de Cobertura |                   | Tinta                  |              |        |              |
|--------------|-------------------|-------------------|------------------------|--------------|--------|--------------|
|              | por HIS           | total             | rendimento             | demãos       | perdas | latas        |
| (quantidade) | (m <sup>2</sup> ) | (m <sup>2</sup> ) | (m <sup>2</sup> /lata) | (quantidade) | (%)    | (quantidade) |
| 472          | 57,39             | 27.088,08         | 160                    | 2            | 5%     | 356          |

Fonte: Elaboração da autora

Os custos diretos (totais) para aplicação da tinta nas coberturas, considerando-se material e mão de obra é R\$206.640,40, conforme Tabela 28.

**Tabela 28 - Custo diretos**

| Descrição                             | Unid.          | Quantidade | Valor unit. (R\$) | Valor total (R\$) |
|---------------------------------------|----------------|------------|-------------------|-------------------|
| Tinta Metalatex Térmica               | un             | 356        | 200               | 71.200,00         |
| Mão de obra                           | m <sup>2</sup> | 27.088     | 5                 | 135.440,40        |
| Custo total (materiais + mão de obra) |                |            |                   | 206.640,40        |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

O custo para aplicação de duas demãos de tinta, incluindo-se a limpeza as superfícies, foi composto com base no SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL - CEF, 2014), e o do material foi cotado em lojas do ramo em Cuiabá. Os demais custos do projeto, apresentados na Tabela 29, foram considerados percentuais sobre os custos dos materiais e mão de obra, utilizados pela concessionária em projetos de eficiência energética.

**Tabela 29 – Detalhamento de custos do projeto**

| Tipo de Custo                   | % de incidência               | Valor Total (R\$) |
|---------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Custos Diretos (CD)             |                               |                   |
| Materiais (Mat)                 | 33% (do custo de Mat + MOT)   | 71.200,00         |
| Mão de Obra de Terceiros (MOT)  | 67% (do custo de Mat + MOT)   | 135.440,40        |
| Mão de Obra de Própria (MOP)    | 1% (sobre custo de Mat + MOT) | 2.066,40          |
| Custos Indiretos (CI)           |                               |                   |
| Administração Própria           | 3% (sobre custo de Mat + MOT) | 6.199,21          |
| Marketing e Divulgação          | 3% (sobre custo de Mat + MOT) | 6.199,21          |
| Medição e Verificação           | 3% (sobre custo de Mat + MOT) | 6.199,21          |
| Custos Totais (CT):             |                               | 227.304,44        |
| Auditoria Contábil e Financeira | 1% (sobre CT)                 | 2.273,04          |
| Total Geral:                    |                               | 229.577,48        |

Sendo:

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| Materiais (Mat):                 | custos de aquisição de materiais e equipamentos utilizados diretamente na execução do projeto                   |
| Mão de obra de terceiros (MOT):  | remuneração de equipe da empresa contratada para executar o projeto   |
| Mão de obra própria (MOP):       | remuneração da equipe, do quadro da concessionária envolvidos na execução e gestão do projeto                   |
| Administração própria:           | remuneração de equipe e recursos da concessionária, deslocados para atividades de apoio à execução dos projetos |
| Medição e verificação:           | remuneração dos profissionais para execução de medição e, bem como, compra/aluguel de instrumentos apropriados  |
| Marketing e Divulgação:          | custeio de divulgação de resultados e benefícios dos projetos de eficiência energética                          |
| Auditoria contábil e financeira: | custos com atividades de auditoria de todos os valores envolvidos no projeto                                    |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

O Custo Anualizado (CAN) foi realizado, considerando-se a taxa de juros igual a 8% ao ano e vida útil do projeto igual a cinco anos. Desta forma, o Fator de Recuperação de Capital (FRC) foi calculado obtendo-se:

$$FRC_{5 \text{ anos}} = \frac{0,08 \times (1 + 0,08)^5}{(1 + 0,08)^5 - 1} = 0,2505$$

O Custo Anualizado (CAT) foi calculado obtendo-se  $CA_T = R\$ 56.929,86$

#### 4.7.1.2 Cálculo dos Benefícios Anualizados ( $BA_T$ )

As metas de economia de energia e de demanda empregadas, foram obtidas por meio de simulação da HISp (com telha cerâmica sem pintura) e HISeT (com telha cerâmica com pintura térmica cor branca), ambas na condição condicionada artificialmente (2 condicionadores de ar, um em cada quarto), sintetizados na Tabela 30. Nas referidas simulações utilizou-se o padrão estabelecido pelo RTQ-R para condicionamento de ar no horário de 21:00 as 8:00h. Entretanto, verifica-se na prática, que os consumidores de energia elétrica acionam os referidos equipamentos condicionadores de ar antes das 21:00h e, portanto, no horário de ponta.

**Tabela 30** - Metas: Redução de Demanda na Ponta (RDP) e Energia Anual Economizada (EE)

| Modelos               | Consumo anual (kWh) | Demanda máxima (kW) |
|-----------------------|---------------------|---------------------|
| HISp                  | 1.946,51            | 2,04                |
| HISeT                 | 1.840,96            | 1,51                |
| Economia por HIS      | 105,55              | 0,53                |
| Economia para 472 HIS | 49.819,60           | 250,16              |

Fonte: Elaboração da autora

A Energia Evitada ou Economizada (EE) foi de 49.819,60kWh/ano ou seja 49,82MWh/ano e a Redução de Demanda na Ponta (RDP) foi de 250,16kW.

Para o cálculo do Custo Unitário Evitado de Demanda (CED), ou seja, da Demanda Evitada, considerou-se C1 e C2, como valores do custo unitário do uso do Sistema de Distribuição horário de ponta e fora do horário de ponta, na tarifa Branca, no valor de R\$ 436,92 e R\$ 127,53 por MWh, respectivamente (ANEEL, 2014b).

A Constante de perda (LP) depende do Fator de carga (FC) da concessionária de energia elétrica, calculado através de dados obtidos junto à distribuidora de energia CEMAT,

referentes ao consumo de energia elétrica ativa e demanda de potência ativa, no período compreendido entre janeiro e dezembro de 2013.

O Fator de Carga (FC) é um índice que demonstra se a energia consumida está sendo utilizada de maneira racional e econômica. Este índice varia entre zero a um, e é obtido pela relação entre a energia ativa consumida num determinado período de tempo e a energia ativa total que poderia ser consumida caso a demanda medida do período (demanda máxima) fosse utilizada durante todo o tempo segundo a Equação 17.

$$FC = \frac{\text{Consumo}}{\text{Demanda} \times \text{tempo}} \quad (17)$$

Sendo:

MWh: consumo de energia ativa

MW: demanda de potência ativa medida

T: nº de horas ocorridas no intervalo

O FC foi calculado utilizando-se dados da amostragem do consumo e da demanda da concessionária no período de janeiro a dezembro de 2013, sintetizado na Tabela 31.

**Tabela 31** - Dados da CEMAT: Energia e demanda requeridas - Ano 2013

| Mês          | Consumo (kWh)    | Demanda (kW) | dias | horas | FC   |
|--------------|------------------|--------------|------|-------|------|
| jan/13       | 582.111.733,28   | 1.213.119,67 | 31   | 24    | 0,64 |
| fev/13       | 557.784.754,82   | 1.285.439,13 | 28   | 24    | 0,65 |
| mar/13       | 647.349.479,26   | 1.343.655,14 | 31   | 24    | 0,65 |
| abr/13       | 606.027.627,40   | 1.304.187,18 | 30   | 24    | 0,65 |
| mai/13       | 616.079.030,75   | 1.278.233,95 | 31   | 24    | 0,65 |
| jun/13       | 615.615.130,97   | 1.309.792,05 | 30   | 24    | 0,65 |
| jul/13       | 635.084.070,34   | 1.335.993,10 | 31   | 24    | 0,64 |
| ago/13       | 643.666.307,90   | 1.379.873,72 | 31   | 24    | 0,63 |
| set/13       | 671.086.452,24   | 1.448.923,72 | 30   | 24    | 0,64 |
| out/13       | 672.472.439,47   | 1.394.267,66 | 31   | 24    | 0,65 |
| nov/13       | 625.803.934,82   | 1.365.514,23 | 30   | 24    | 0,64 |
| dez/13       | 612.082.769,34   | 1.382.218,85 | 31   | 24    | 0,60 |
| Média anual  | 623.763.644,22   | 1.336.768,20 |      |       | 0,64 |
| Máxima anual | 672.472.439,47   | 1.448.923,72 |      |       |      |
| Total anual  | 7.481.116.993,70 | -            | 365  |       |      |

Fonte: CEMAT (2014b)

O FC médio da concessionária obtido foi de 0,64, sendo adotado um FC de 0,65 para obtenção das Constantes de Perda de Demanda (LP) e Energia (LE), sintetizados Tabela 32.

Tabela 32 - Constantes de perdas para FC = 0,65

| Fator de Carga (FC) | LP     | LE <sub>1</sub> | LE <sub>2</sub> | LE <sub>3</sub> | LE <sub>4</sub> |
|---------------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 0,65                | 0,5041 | 0,36950         | 0,25865         | 1,97632         | 1,39557         |

Fonte: Adaptado pela autora de ANEEL (2013b)

Segundo a metodologia da ANEEL (2013b) o Custo Evitado de Demanda, calculado conforme Equação (10) foi de R\$552,80kW.

Para o cálculo do Custo da Energia Evitada (CEE) utilizou-se os custos de energia na ponta ( $C_p=314,18\text{R}\$/\text{MWh}$ ) e fora de ponta ( $C_{fp}=186,92\text{R}\$/\text{MWh}$ ). Com os valores das constantes de perdas de 0,32 e 1,73, o CEE foi de 206,78R\$/MWh.

O Benefício Anualizado Total (BA<sub>T</sub>) foi de R\$137.788,13 e o RCB foi de 0,38.

Avaliando a relação custo-benefício do projeto de eficiência energética proposto, que envolve a pintura da cobertura de 472 habitações de interesse social (HIS) com tinta térmica na cor branca, com objetivo de reduzir a absorção térmica da mesma, pode-se concluir que é viável economicamente, com uma RCB de 0,38, valor inferior ao limite de 0,8 estabelecido pela metodologia da ANEEL (2013b).

Salienta-se que uma RCB de 0,38 significa que para cada R\$0,38 investidos no projeto de eficiência, obtêm-se R\$ 1,00 em economia de energia elétrica.

## 5 CONCLUSÃO

O objetivo geral deste estudo foi analisar o impacto da aplicação de estratégias bioclimáticas, na eficiência termoenergética de habitações de interesse social.

Este impacto pode ser verificado utilizando-se metodologia integrada compreendendo dados de séries históricas de consumos, medições das condições ambientais (internas e externas às habitações) e simulações computacionais, que permitiram estabelecer relações entre o ambiente construído e sua eficiência energética, evidenciando a interdisciplinariedade da pesquisa.

Para tanto, foram adotados três cenários sendo o modelo equivalente à HIS conforme construída em um residencial na cidade de Cuiabá/MT (HIS padrão - HISp), e mais dois cenários com modelos hipoteticamente mais eficientes denominados HISeT (HIS mais eficiente, com pintura tinta térmica na cobertura) e HISeTPJ (HIS mais eficiente, com pintura na cobertura e paredes externas, com alteração das janelas). Esta hipótese de maior eficiência fundamentou-se nas propriedades termo físicas dos materiais construtivos da envoltória da habitação estudada, consideradas determinantes para as condições ambientais internas. Estas, por sua vez, exigem maior ou menor consumo de energia para fins de resfriamento e/ou refrigeração e, conseqüentemente, maior ou menor eficiência energética da edificação.

Nesse sentido, a orientação geográfica de implantação foi estudada por sua influência direta na transmissão de calor pelas paredes e coberturas ao ambiente interno, tendo sido verificado, por meio do indicador  $GH_R$  da HISp obtido por meio de simulação computacional, que a implantação com a fachada principal orientada a Oeste obteve  $GH_R$  igual a  $27.989^\circ Ch$ , enquanto que as fachadas orientadas a Leste, Norte e Sul obtiveram  $28.349$ ,  $28.868$  e  $28.926^\circ Ch$ , respectivamente. Esse indicador levou à classificação “D” de eficiência energética da envoltória para resfriamento da HISp, para todas as quatro orientações.

Não obstante a igualdade de classificação, concluiu-se que a orientação de menor eficiência foi a da fachada principal voltada para a direção Sul, sendo justificada pela forma dessa edificação que, nessa posição, expõe a fachada de maior dimensão e com maior área de aberturas, para o Oeste. Essa orientação de implantação, por representar a pior situação de eficiência energética, foi a escolhida para a implementação de intervenções na envoltória.

Em virtude dessa baixa classificação, o objeto de estudo apresentou elevado potencial de melhoria e, conseqüente aplicabilidade de programas de eficiência energética pelas concessionárias de distribuição de energia elétrica, enfatizando que a regulamentação da temática voltada às edificações, no Brasil, é recente.

Também recente é a normatização que trata do desempenho térmico de habitações, que foi adotada no estudo das três tipologias de HIS estudadas. Avaliadas as edificações de forma global, por simulação computacional, obteve-se a temperatura máxima interna no dia típico de verão (para HISp, HISeT e HISeTPJ) iguais a 37,60, 33,15 e 33,24°C, respectivamente, concluindo-se que o desempenho térmico é Mínimo para a HISp e Superior para as HISeT e HISeTPJ.

A classificação de cada modelo, bem como, a avaliação comparativa das variações de classificação em consequência das alterações das variáveis da envoltória, foram obtidas sendo apresentadas a seguir.

A classificação da eficiência energética da HISp, HISeT e HISeTPJ foram “D”, “C” e “B”, respectivamente, adotando-se pontuação de Bonificações igual a 0,62, Coeficiente “a” da região geográfica igual a 0,65 e Equivalente Numérico para Aquecimento de Água (EqNumAA) igual a 1, conforme estabelecido no RTQ-R para a Região Centro-Oeste e ausência de sistema de aquecimento de água.

Considerando-se que 35 das 39 cidades que pertencem a ZB7 (à qual pertence Cuiabá), são do Nordeste, propõe-se o ajuste do valor de “a” para 0,95 e do EqNumAA, igual a 2, estabelecidos para Região Nordeste, a classificação da eficiência energética da HISp, HISeT e HISeTPJ foram “C”, “B” e “A”, respectivamente,

Isto posto, ficou evidenciado que as intervenções propostas melhoraram o nível de eficiência energética, refletindo na classificação das mesmas, sendo que o modelo HISeTPJ obteve o nível “A”.

Verificou-se que as variáveis consumo de energia elétrica e temperatura interna, apresentaram comportamentos semelhantes, ou seja, nos meses em que a temperatura interna apresentou menores valores, também ocorreu menor consumo de energia elétrica e vice-versa.

As variáveis consumo de energia elétrica e temperatura interna, apresentaram redução comparando-se a HISp com as duas mais eficientes (HISeT e HISeTPJ). Esses resultados refletiram nas variações percentuais calculadas, sendo observado que a maior redução, em termos percentuais, foi entre HISp e HISeTPJ, tanto para o consumo de energia (-9%), quanto para a temperatura interna (-4%).

Evidencia-se, desta forma, a influência dos materiais da envoltória da habitação no consumo de energia elétrica. Nos modelos HISeT e HISeTPJ, para cada grau de temperatura interna reduzido, obteve-se 6% e 7% de redução no consumo de energia, respectivamente.

Os consumos de energia elétrica (kWh/ano) e os valores de demanda de potência máxima (kW) anuais obtidos para as HISp, HISeT e HISeTPJ foram de 1.946,51 e 2,04, 1.840,96 e 1,51, 1.776,05 e 1,39, respectivamente. Desta forma, pode-se evidenciar a maior eficiência energética do modelo HISeTPJ.

O consumo mensal de energia elétrica simulado da HISp foi de 162,21kWh, tendo sido comparado com o consumo médio mensal de 148kWh (obtido pelo histórico de consumo junto a CEMAT), demonstrando a aderência do modelo simulado à situação prática.

Desta forma, os consumos mensais de energia elétrica resultantes das simulações computacionais dos modelos estudados foram adotados como Consumo Representativo Mensal (CM) para cada modelo (HISp, HISeT e HISeTPJ), ou seja, CM-1, CM-2 e CM-3 foram 162,21, 153,41 e 148,00kWh/mês, respectivamente. Estabeleceu-se, ainda, o Consumo Representativo Anual para cada modelo (CA-1, CA-2 e CA-3) igual a 1.946,51, 1.840,96 e 1.776,05kWh/ano.

A partir destes cenários, calculou-se a projeção dos consumos representativos para o conjunto habitacional, que possui 472 UC, sendo obtidos os valores 918.752,72, 868.933,12 e 838.295,60kWh/ano, respectivamente. Complementarmente, as projeções de consumo para as 13.437 habitações construídas pelo Programa Minha Casa Minha Vida, em Cuiabá-Várzea Grande, entre os anos de 2009 e 2013, para os três cenários (HISp, HISeT e HISeTPJ) foi de 26.155.254,87, 24.736.979,52 e 23.864.783,85kWh/ano.

Com base nesses resultados ficou demonstrada uma redução do consumo de energia elétrica após a aplicação de estratégias bioclimáticas, na eficiência termoenergética de habitações de interesse social, que representou uma economia equivalente ao atendimento de 1176 UC similares, pelo período de um ano. Ficou evidenciada a importância da adoção de medidas que abordem este tema por parte dos agentes envolvidos na definição de políticas públicas, tanto eficiência energética, quanto habitacionais.

A sistemática para obtenção das correlações entre as variações das temperaturas internas e dos consumos de energia elétrica de referência, em função de intervenções na envoltória foi estabelecida, constituindo uma das contribuições deste trabalho. Desta forma, as referidas correlações foram determinadas para a habitação estudada, considerando-se que os coeficientes de correlação linear representaram correlação forte e positiva nos dois casos: HISp-HISeTPJ (0,81) e HISp-HISeTPJ (0,75).

Verificou-se que a redução de um grau na TM (em função da implementação de HISeT), reflete em uma economia de 10,85kWh por mês no CM (que equivale a redução de 7,1% do CM em relação ao modelo padrão - HISp). Essa economia é de 10,95kWh, ou seja 7,4%, quando implementada HISeTPJ.

Este estudo de intervenções na envoltória constitui proposta interdisciplinar inovadora para projetos no âmbito do Programa de Eficiência Energética das concessionárias de distribuição de energia elétrica, considerando-se que o resultado da avaliação da Relação Custo Benefício para implementação de HISeT (pintura do telhado com tinta térmica na cor branca) em 472 habitações de interesse social (HIS) foi de 0,38 (viável economicamente), sendo inferior ao limite de 0,8 estabelecido pela ANEEL para esse tipo projeto. Evidenciou-se a importância de estudos interdisciplinares para definição de políticas públicas para eficiência energética e habitacionais.

## **5.1 TRABALHOS FUTUROS**

Propõe-se para trabalhos futuros a continuidade do desenvolvimento das aplicações desses tipos de medida aprofundando nas interfaces entre o consumo eficiente de energia elétrica e os elementos construtivos que compõem uma unidade habitacional. Disso derivam: (a) pesquisas de campo acerca da posse de equipamentos e hábitos de consumo; (b) aprofundamento na metodologia de cálculo proposto no RTQ-R, avaliando a necessidade de eventuais ajustes que promovam maior adequação da pontuação final para classificação; (c) consolidação dos critérios tratados nas diferentes normativas de desempenho termoenergético de edificações e (d) elaboração de proposta de educação ambiental em eficiência energética voltada para o perfil socioeconômico dos moradores no âmbito do Programa Minha Casa, Minha Vida.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Resolução Normativa nº 176 de 28 de novembro de 2005. Estabelece critérios para aplicação de recursos em programas de eficiência energética. Brasília, DF, 28 nov.2005 Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2005176.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Atlas da energia elétrica do Brasil**. ANEEL. Brasília: ANEEL, 2008. 236 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Resolução Normativa nº 414 de 9 de setembro de 2010. Estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada. Brasília, DF, 9 set.2010 Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Resolução Normativa nº 435 de 24 de maio de 2011. Define a estrutura dos Procedimentos de Regulação Tarifária – PRORET, que consolida a regulamentação acerca dos processos tarifários. Brasília, DF, 24 mai.2011 Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2011435.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Resolução normativa nº 556 de 18 de junho de 2013. Aprova os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética- PROPEE. Brasília, DF, 18 jun.2013a. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2013556.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA- ANEEL. Procedimentos do Programa de Eficiência Energética- PROPEE – Módulo 7 – cálculo de viabilidade, revisão 1. Brasília, DF, 27 set.2013b. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2013556.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Sistema bandeiras tarifárias. 2014a. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Grafico\\_Historico\\_das\\_Bandeiras\\_Tarifarias\\_janeiro2015\\_V1.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Grafico_Historico_das_Bandeiras_Tarifarias_janeiro2015_V1.pdf)>. Acesso em: 29 dez. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Resolução Homologatória Nº 1.704, de 7 de Abril de 2014. Homologa o resultado do reajuste tarifário anual, estabelece a receita anual referente às instalações de conexão, fixa as Tarifas de Energia - TE e as Tarifas de Uso dos Sistemas de Distribuição - TUSD, referentes à Centrais Elétricas Matogrossenses S.A - CEMAT. Brasília, 2014b. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/reh20141704.pdf>>. Acesso em: 04 mai. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Sistema bandeiras tarifárias. Brasília: ANEEL, 2015. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Grafico\\_Historico\\_das\\_Bandeiras\\_Tarifarias\\_janeiro2015\\_V1.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Grafico_Historico_das_Bandeiras_Tarifarias_janeiro2015_V1.pdf)>. Acesso em: 14 jan. 2015.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS – ASHRAE. **140-2004**: standard method of test for the evaluation of building energy analysis computer programs. Atlanta: ASHRAE, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA – ABRADDEE. **Método para determinação, análise e otimização das perdas técnicas em sistemas de distribuição**: relatório 19-34. Rio de Janeiro: ABRADDEE, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15.220-2**: Desempenho térmico de edificações - parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a. 21p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **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, 2005b. 30 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15.575-1**: edificações habitacionais - desempenho - parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15.575-4**: edificações habitacionais - desempenho - parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013b. 63 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15.575-5**: edificações habitacionais - desempenho - parte 5: requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013c. 73 p.

BARCELOS, K. A. **Método para avaliação de projetos de habitação social: mobiliamento, espaciosidade e funcionalidade**. 2011. 263 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) – Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

BRASIL. Lei nº 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. Brasília, DF, 24 jul. 2000. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19991.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19991.htm)>. Acesso em: 15 abr. 2013

BRASIL. Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei que dispõe sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 20 dez. 2001a. Disponível em: <<http://www4.planalto.gov.br>>. Acesso em: 05 jun. 2012.

BRASIL. Lei Nº 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, Brasília, 2000. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19991.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19991.htm)>. Acesso em: 23 abr. 2014.

BRASIL. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 out. 2001b. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/L10295.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/L10295.htm)>. Acesso em: 5 jun. 2012.

BRASIL. Portaria nº 231, de 4 de junho de 2004. Estabelece as diretrizes gerais para aplicação dos recursos alocados ao Programa de Arrendamento Residencial - PAR e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 07 jun. 2004. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br>>. Acesso em: 20 jun. 2012.

BRASIL. Lei nº 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. Brasília, DF, 20 jan. 2010. 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: 05 jun. 2012.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia – MME. **Cadernos cidades parcerias – Caderno 9 Eficiência Energética em Habitação de Interesse Social**. Brasília: MME, 2005. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/index.php/component/content/article/37-destaques/242-cadernos-do-ministerio-das-cidades.html>>. Acesso em: 7 fev. 2013.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia – MME. **Plano nacional de energia 2030**. Brasília: MME, 2007. p. 244. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/PNE/20080512\\_11.pdf](http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_11.pdf)>. Acesso em: 14 mar.14.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia – MME. **Plano nacional de eficiência energética – PNEf – premissas e diretrizes**. Brasília: MME, 2011a. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/PlanoNacEfiEnergetica.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2012.

BRASIL. Portaria nº 594, de 18 de outubro de 2011. Aprova o Plano nacional de eficiência energética – PNEf: premissas e Diretrizes. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 19 out. 2011b. Disponível em: < [http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/noticias/2011/Portaria\\_n\\_594-2011.pdf](http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/noticias/2011/Portaria_n_594-2011.pdf)>. Acesso em: 18 jun. 2012.

BRASIL. Ministério das Cidades - Mcidades. **Política nacional de habitação**. Brasília: Mcidades, 2004 Disponível em: <<http://www.capacidades.gov.br/biblioteca/detalhar/id/127/titulo/Cadernos+MCidades+4+-+Politica+Nacional+de+Habitacao>>. Acesso em: 14 mar.14.

BUGES, N. L.; STUMPO, L. F. A.; PORTO, F. H. F. S.; LÓPEZ, V.; ANDREASI, W. A. A eficiência energética de contêiner adaptado como residência nos diversos climas do Brasil. In ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO: AVANÇOS NO DESEMPENHO DAS CONSTRUÇÕES - PESQUISA, INOVAÇÃO E CAPACITAÇÃO PROFISSIONAL - ENTAC, 15., 2014, Maceió. **Encontro...** Maceió: Marketing Aumentado, 2014. p. 183-192.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL - CEF. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI**. [S.l.]: CEF, 2014. Disponível em: <[http://www1.caixa.gov.br/gov/gov\\_social/unicipal/programa\\_des\\_urbano/SINAPI/index.asp](http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/unicipal/programa_des_urbano/SINAPI/index.asp)>. Acesso em: 14 mar.14.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais**. 2008. 196 f. Tese (Doutorado em Engenharia civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2008.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S/A - ELETROBRÁS. Programa nacional de conservação de energia elétrica - PROCEL. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso: ano base 2005 – casse residencial**. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS, 2007. 186 p. – **Relatório Brasil**.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS – ELETROBRÁS - PROCEL. **Manual de tarifação de energia elétrica**. Rio de Janeiro: PROCEL, 2011. 58 p.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS– ELETROBRÁS. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL. **Introdução ao programa brasileiro de etiquetagem**. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS – PROCEL, 2013a. Disponível em: <[http://www.PROCELinfo.com.br/main.asp?View={89E211C6-61C2-499A-A791-DACD33A348F3}](http://www.PROCELinfo.com.br/main.asp?View={89E211C6-61C2-499A-A791-DACD33A348F3}>)>. Acesso em: 15 abr.14.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S/A - ELETROBRÁS. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL. **Resultados PROCEL 2013: ano base 2012**.

Rio de Janeiro: ELETROBRÁS – PROCEL, 2013b. Disponível em: <<http://www.PROCELinfo.com.br/main.asp?View=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D&Team=&params=itemID=%7B8C4A271C-8CC7-48B8-BDCE-16947CB6DEC4%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>>. Acesso em: 15 abr.14.

CENTRAIS ELÉTRICAS MATOGROSSEENSES - CEMAT. **Relatório da administração:** 2013. Cuiabá: CEMAT, 2014a. 21p.

CENTRAIS ELÉTRICAS MATOGROSSEENSES S/A – CEMAT. **Boletim estatístico:** operação do sistema de produção e transmissão da Gerência de Operação do Sistema – GOS. Cuiabá: CEMAT, 2014b.

COSTA, S.F. **Introdução ilustrada à estatística.** 4. ed. São Paulo: Harba, 2005. 399 p.

DAMÉ, L. **Habitação PAR, desempenho Ímpar? uma avaliação funcional de unidades multifamiliares em Pelotas/RS.** 2008. 84 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Nota técnica DEA 14/10:** eficiência energética na indústria e nas residências no horizonte decenal (2010-2019). Rio de Janeiro: EPE, 2010. 46 p. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/201008094.pdf>>. Acesso em: 14 abr.14.

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS – EPE. **Anuário estatístico de energia elétrica 2013.** Rio de Janeiro: EPE, 2013a. 253 p. Disponível em <[http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/20130909\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/20130909_1.pdf)>. Acesso em: 11 jul. 2014.

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS – EPE. **Boletins de energia:** consumo anual de energia elétrica por classe (nacional) – 1995-2013. Rio de Janeiro: EPE, 2014a. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Lists/BoletinsDeEnergia/DispForm.aspx?ID=218>>. Acesso em: 11 jul.2014.

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS – EPE. **Balanco energético nacional: BEN 2014 - ano base 2013.**Rio de Janeiro: EPE, 2014b. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2014.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf)>. Acesso em: 12 jul. 2014. 284p. Relatório Síntese.

ENERGYPLUS. **Input output reference:** the encyclopedic reference to energyplus input and output. Berkeley: University of Illinois, 2013. 2206 p.

EUROPEAN PARLIAMENT. **Implementing the energy performance of buildings directive:** featuring country reports 2012. Porto: ADENE, 2013. Disponível em: <<http://www.epbd-ca.eu/>> . Acesso em: 14 nov. 2014.

EUROPEAN PARLIAMENT. Directive 2010/31/EU de 19 de maio de 2010. **Official Journal of the European Union**, Estrasburgo, p. 13-35, 2010. Disponível em: <<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:EN:PDF>>. Acesso em: 14 nov. 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. Portaria nº 449, de 25 de novembro de 2010. Aprovar o Regulamento Técnico da Qualidade - RTQ para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Rio de Janeiro, 17 jan. 2012. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001627.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. Portaria nº 18 de 16 de janeiro de 2012. Aprova a revisão do Regulamento Técnico da Qualidade – RTQ-R para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 jan. 2012.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION – ISO. **ISO 7726:** thermal environments-instruments and methods for measuring physical quantities. Switzerland, 1998.

JOHN, V. M.; PRADO, R. T. A. (Coord.). **Boas práticas para habitação mais sustentável**. São Paulo: Páginas & Letras Editora e Gráfica, 2010.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES – LABEEE. **Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas (v5)**. Florianópolis: LABEEE, 2011a. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios\\_pesquisa/catalogo\\_propriedades\\_termicas\\_parede\\_e\\_cobertura\\_out2011\\_2.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/catalogo_propriedades_termicas_parede_e_cobertura_out2011_2.pdf)>. Acesso em: 26 jul. 2013.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES – LABEEE. **Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do pré-processador Slab no programa energyplus**. Florianópolis: LABEEE, 2011b. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br>>. Acesso em: 26 jul. 2013

MASCARÓ, J. L. **O custo das decisões arquitetônicas**. São Paulo: Nobel, 1985.

MAZZAFERRO L.; SILVA, A.; S.; GHISI, E. Influência de elementos construtivos do envelope no desempenho térmico de edificações unifamiliares. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS, 1., 2014, Guimarães. **Anais...** Guimarães: Universidade de Minho, 2014. v.3, p. 241-251.

MATOS, J.; PEDRINI, A.; TINÔCO, M.; DRUMMOND, A. Análise tipológica de edifícios residenciais verticais a luz do RTQ-R. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO: AVANÇOS NO DESEMPENHO DAS CONSTRUÇÕES - PESQUISA, INOVAÇÃO E CAPACITAÇÃO PROFISSIONAL – ENTAC, 15., 2014, Maceió. **Anais...** Maceió: Marketing Aumentado, 2014. p. 348-656.

MIRANDA, S. A. **Desempenho térmico em dormitórios e consumo de energia elétrica residencial:** estudo de caso em Cuiabá-MT. 2011. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental)- Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

MONTEIRO, V. M. L. M.; VELOSO, M. F. D.; PEDRINI, A. Conforto térmico e habitação de interesse social: uma proposta adequada à realidade do município de Macaíba/RN. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO – ENANPARQ, 2., 2012, Natal. **Encontro...** Natal: ANPARQ, 2012. p. 1-19.

ONGARATTO B.; SILVA G.; SOARES M.; SARAIVA M.; CUNHA E.; OLIVEIRA L. Evaluation of thermal comfort conditions in community center in Pelotas, RS: simulation of changes in windows characteristics. In: CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, 13., 2013, Chambéry. **Proceedings ...** Chambéry: [s.l.], 2013. p. 2297-2304.

PAPST, A. L. **Método estimado da temperatura interna de edificações residenciais em uso.** 2004. 137 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2004.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO - PNUD. **Atlas do desenvolvimento humano no Brasil 2013.** Brasília: PNUD, 2013. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/download>>. Acesso em: 10 jul. 2014.

RORIZ, M. **Arquivos climáticos de municípios brasileiros.** São Carlos: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ANTAC, 2012. p. 2.

ROTTA, R. **Desempenho térmico de edificações multifamiliares de interesse social em conjuntos habitacionais na cidade de Santa Maria - RS.** 2009. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

SAILOR, D. J.; VASIREDDY, C. Correcting aggregate energy consumption data to account for variability in local weather. **Environmental Modelling & Software**, Kidlington, v. 21, n.5, p. 733 – 738, 2006. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/13648152/21/5>. Acesso em: 10 dez. 2014.

SHERWIN-WILLIAMS. **Boletim técnico eco telha térmica código 728**. [S.l.: s.n., 200-]. Disponível em: <[http://www.sherwin-williams.com.br/imagens/produto/fispq/boletim\\_tecnico\\_728\\_tbs\\_metalatex\\_eco\\_telha\\_termica.pdf](http://www.sherwin-williams.com.br/imagens/produto/fispq/boletim_tecnico_728_tbs_metalatex_eco_telha_termica.pdf)>. Acesso em: 10 jul. 2014.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3. ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001. 138 p.

SORGATO, M. J. **Relatório técnico da base de simulações para o RTQ-R**. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. 2011. 55 p.

SUTER, J. F.; SHAMMIN R. Returns to residential energy efficiency and conservation measures: A field experiment. **Energy Policy**, Londres, v. 59, p. 551–561, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421513002401>>. Acesso em: 10 jul. 2014.

THE WORLD BANK. **Data bank: electric power consumption (kWh per capita)**. [S.l.]: THE WORLD BANK, 2014. Disponível em <<http://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC/countries/1W?display=map>>. Acesso em: 10 jul. 2014.

VIEIRA, R. D.; MEDVEDOVSKI, N. S.; SCHELLIN, L. L.; COSWIG, M. T. Caracterização do usuário do PAR em Pelotas: uma análise de apoio ao processo de gestão condominial pós-arrendamento. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 10.; ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 17., 2008, Pelotas. **Anais...** Pelotas: [s.n.], 2008. p. 5.

## APÊNDICE A: DADOS DE ENTRADA NO *ENERGYPLUS*

Nos trabalhos pesquisados na revisão bibliográfica, não constam o detalhamento dos parâmetros para as simulações, fato que dificulta o entendimento dos aspectos considerados pelo pesquisador.

Desta forma, apresentam-se neste Apêndice, os parâmetros considerados mais importantes durante o processo de inserção de dados, com o objetivo de servir de base para estudos futuros.

### Interface inicial

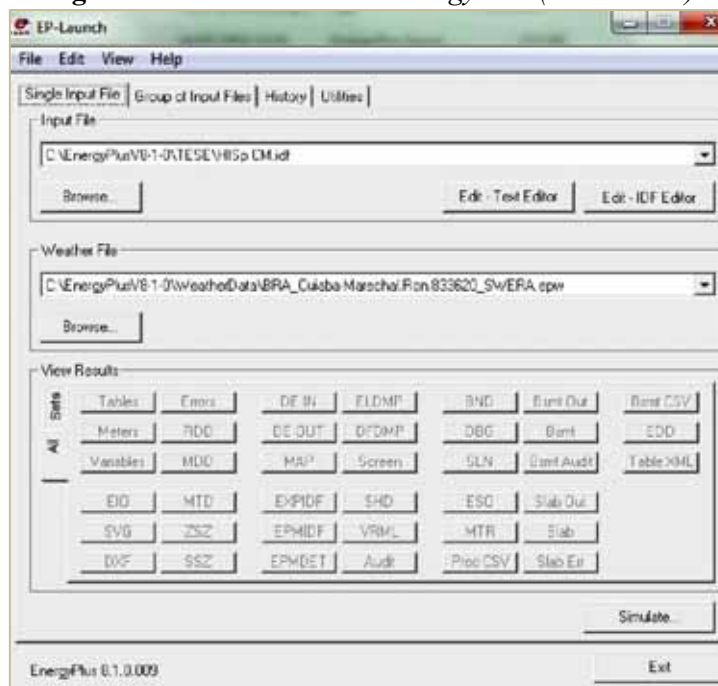
O programa *EnergyPlus* possui duas interfaces básicas: o *EP-Launch* e o *IDF Editor*.

O gerenciador de simulação do *EnergyPlus* denominado *EP-Launch*, utiliza sempre dois arquivos de dados que foram inseridos em:

- arquivo de entrada de dados (*input file*): cuja extensão é *.idf*;
- arquivo climático (*weather file*): cuja extensão é *.epw*.

Após a execução completa da simulação, são disponibilizados vários arquivos de resultados, dentre os quais destacam-se o relatório de erros, que pode ser acessado em *View Results / All / Errors* (Figura A.1). Além disso, o *EP-Launch* foi utilizado como um gerenciador de arquivos, abrindo o software correspondente para qualquer um dos arquivos de entrada e de saída.

**Figura A.1** - Tela inicial do *EnergyPlus (EP-Launch)*

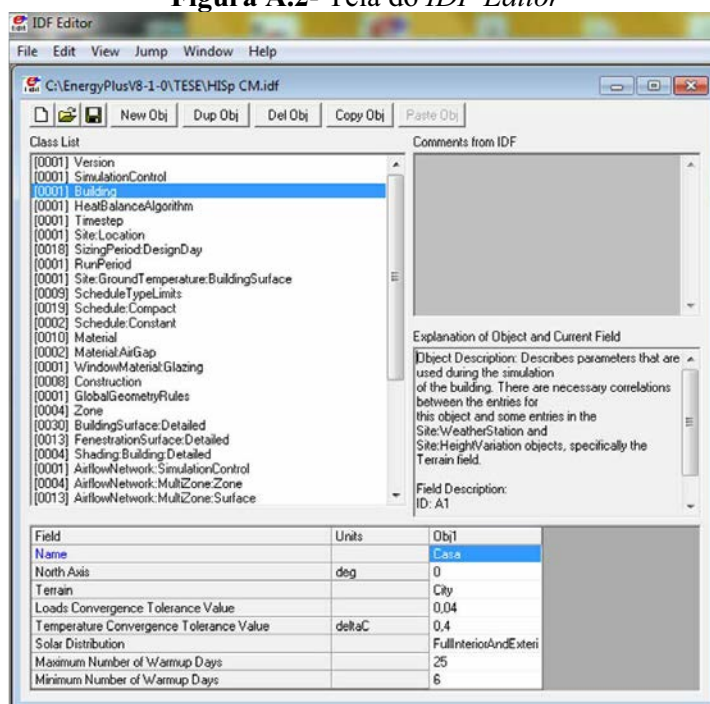


Fonte: Dados da pesquisa da autora

O *IDF Editor* permitiu edição dos arquivos de dados de entrada para o *EnergyPlus*, (com a extensão IDF). No *IDF Editor* os objetos foram visualizados e editados através de uma espécie de planilha eletrônica. Para alguns campos de entrada de dados, é oferecida uma lista com várias opções de entrada. Quando se trata de uma entrada numérica é exibida a faixa de valores válidos. Quando um objeto precisa ser referenciado a outro, é fornecida automaticamente uma lista de nomes de objetos. Os objetos do mesmo tipo são exibidos em uma grade (lado a lado), facilitando a visualização das entradas de dados.

No *IDF Editor*, a área Lista de Classes (*Class List*) permitiu acessar as diversas classes de objetos para a entrada de dados sobre a localização da edificação, perfil de ocupação, sistemas de climatização. A área Comentários do IDF (*Comments from IDF*) possui algumas informações sobre a classe de objeto selecionada e na área Explicação do Objeto e do Campo Atual (*Explanation of Object and Current Field*) estão informações relativas aos objetos, que são as variáveis de entrada de dados (Figura A.2).

**Figura A.2-** Tela do *IDF Editor*



Fonte: Dados da pesquisa da autora

A seguir foram descritos os campos utilizados no arquivo de entrada de dados.

### Versão (*Version*)

Refere-se à versão 8.1 do arquivo IDF, correspondente a versão do *Energyplus*, como ilustrado na Figura A.3.

**Figura A.3-** Classe: Versão

| Field              | Units | Obj1 |
|--------------------|-------|------|
| Version Identifier |       | 8.1  |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

### Controle de Simulação (*SimulationControl*)

Nesta classe são definidas as configurações para especificar que tipo de cálculos a simulação realiza. Para definir cada uma das opções, modifica-se a entrada da variável para Sim (*Yes*). Caso contrário, deve-se manter a opção Não (*No*), como na Figura A.4.

**Figura A.4-** Classe Controle de simulação

| Field                                       | Units | Obj1 |
|---|-------|------|
| Do Zone Sizing Calculation                  |       | Yes  |
| Do System Sizing Calculation                |       | Yes  |
| Do Plant Sizing Calculation                 |       | No   |
| Run Simulation for Sizing Periods           |       | No   |
| Run Simulation for Weather File Run Periods |       | Yes  |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

- a) *Do Zone Sizing Calculation*: permite avaliar a temperatura e a carga térmica da zona térmica,
- b) *Do System Sizing Calculation*: permite o dimensionamento da capacidade dos sistemas de climatização para o controle de temperatura da zona térmica analisada,
- c) *Do Plant Sizing Calculation*: permite avaliação da capacidade e consumo dos diversos equipamentos do sistema de climatização e ventilação,
- d) *RunSimulation for Sizing periods*: permite a realização da simulação de um ou mais dias típicos de projeto, definidos no menu *Location and Climate/SizingPeriod: Design Day*;
- e) *Run Simulation for Weather file Run Periods*: permite a realização da simulação utilizando um arquivo climático (um ano típico) definido no menu *Location and Climate/SizingPeriod/Weatherfiledays*.

### Construção (*Building*)

Esta classe descreve alguns parâmetros importantes, utilizados na simulação. A variável *Name* é utilizada para identificação da edificação em estudo. A variável *North Axis* indica de quantos graus a edificação está em relação ao norte magnético. A variável *Terrain* define o tipo de terreno, que afeta o cálculo da distribuição de velocidades em torno da edificação. As variáveis *Loads Convergence Tolerance Value* e *Temperature Convergence Value* definem quais serão os níveis de tolerância para carga térmica e temperatura, respectivamente, durante as simulações. A variável *Solar Distribution* define qual o modelo a ser adotado para o cálculo das trocas de calor devido a radiação. Normalmente, o uso da opção *FullInteriorAndExterior* é a mais frequentemente usada, como ilustrado na

**Figura A.5-** Classe edificação (*Building*)

| Field                                   | Units  | Obj1                  |
|---|--------|-----------------------|
| Name                                    |        | Casa                  |
| North Axis                              | deg    | 0                     |
| Terrain                                 |        | City                  |
| Loads Convergence Tolerance Value       |        | 0,04                  |
| Temperature Convergence Tolerance Value | deltaC | 0,4                   |
| Solar Distribution                      |        | FullInteriorAndExteri |
| Maximum Number of Warmup Days           |        | 25                    |
| Minimum Number of Warmup Days           |        | 6                     |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

### Intervalo de tempo (*Timestep*)

Fração de tempo utilizada nas interações de cálculos e resultados de simulações (Figura A.6), a simulação foi executada para um intervalo  $\frac{1}{4}$  de hora, ou seja, 15 minutos.

**Figura A.6 –** Classe Timestep

| Field                        | Units | Obj1 |
|------------------------------|-------|------|
| Number of Timesteps per Hour |       | 4    |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

### Localização (*Site:Location*)

Localização geográfica de onde será utilizado o arquivo climático mais próximo da edificação a ser simulada, com a latitude, longitude, fuso horário e altitude. Na Figura A.7, a simulação foi configurada para a cidade de Cuiabá – MT.

**Figura A.7 –** Classe localização (*Site:Location*)

| Field     | Units | Obj1                             |
|-----------|-------|----------------------------------|
| Name      |       | CUIABÁ/MARECHAL ROND. 3RA Design |
| Latitude  | deg   | -15,65                           |
| Longitude | deg   | -56,1                            |
| Time Zone | hr    | -4                               |
| Elevation | m     | 182                              |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

### Dias típicos de simulação (SizingPeriod:DesignDay)

Estipula os dados climáticos relacionados a dias típicos em que se deseje realizar uma simulação.

### Período de Simulação (RunPeriod)

Permitiu adotar os elementos necessários para criar uma simulação para um período de tempo estabelecido. A Figura A.8 apresenta os elementos básicos para a realização da simulação para um ano.

**Figura A.8** – Classe período de simulação (RunPeriod)

| Field                                      | Units | Obj1           |
|--|-------|----------------|
| Name                                       |       | 1.mos          |
| Begin Month                                |       | 1              |
| Begin Day of Month                         |       | 1              |
| End Month                                  |       | 12             |
| End Day of Month                           |       | 31             |
| Day of Week for Start Day                  |       | UseWeatherFile |
| Use Weather File Holidays and Special Days |       | Yes            |
| Use Weather File Daylight Saving Period    |       | Yes            |
| Apply Weekend Holiday Rule                 |       | No             |
| Use Weather File Rain Indicators           |       | Yes            |
| Use Weather File Snow Indicators           |       | Yes            |
| Number of Times RunPeriod to be Repeated   |       | 1              |
| Increment Day of Week, on repeat           |       |                |
| Start Year                                 |       |                |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

### Temperatura do solo (Site:GroundTemperature:BuildingSurface)

Considera a média mensal da temperatura do solo abaixo da edificação simulada, sendo utilizada pelo *EnergyPlus* para avaliação da troca de calor que ocorre entre o solo e o ambiente que está em contato direto com o mesmo.

A Figura A.9 mostra a temperatura média mensal do solo do arquivo climático para Cuiabá-MT que pode ser adotado para simulações.

**Figura A.9** – Classe Site:GroundTemperature:BuildingSurface

| Field                        | Units | Obj1  |
|------------------------------|-------|-------|
| January Ground Temperature   | C     | 16,05 |
| February Ground Temperature  | C     | 17,79 |
| March Ground Temperature     | C     | 17,77 |
| April Ground Temperature     | C     | 19,29 |
| May Ground Temperature       | C     | 19,54 |
| June Ground Temperature      | C     | 19,56 |
| July Ground Temperature      | C     | 21,12 |
| August Ground Temperature    | C     | 21,36 |
| September Ground Temperature | C     | 21,39 |
| October Ground Temperature   | C     | 21,42 |
| November Ground Temperature  | C     | 19,91 |
| December Ground Temperature  | C     | 19,65 |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

Nas simulações de edificações térreas a temperatura do solo é um parâmetro importante, pois as trocas de calor entre o piso e o solo são determinantes no resultado final

das trocas de calor do ambiente (SORGATO, 2011). Considerando-se que estas temperaturas do solo influenciam significativamente nos resultados das simulações, optou-se por não inserir diretamente, neste objeto, as temperaturas do solo contidas no arquivo climático. Para tanto, foram utilizados os resultados obtidos por simulações utilizando-se os programas *EnergyPlus* e o auxiliar *Slab*, tendo como base as características da HIS estudada e os valores médios de temperaturas internas e externas da edificação, do arquivo climático. O procedimento utilizado está detalhado no APÊNDICE B, tendo sido realizado para três condições distintas da HIS (conforme medição, naturalmente ventilada e condicionada artificialmente). Estas temperaturas que foram inseridas no objeto Temperatura do solo (*Site:GroundTemperature: Building Surface*) para as simulações das respectivas condições de estudo.

A Figura A.10 apresenta as temperaturas do solo para edificação em estudo em três condições distintas, obtidas como resultados das simulações executadas com o *Slab* e com *EnergyPlus*.

**Figura A.10 - Temperaturas do solo sob HIS**

| HIS – CM<br>na condição<br>Conforme Medição |       |       | HIS – NV<br>na condição<br>Naturalmente Ventilada |       |       | HIS - HVAC<br>na condição<br>Condicionada Artificialmente |       |       |
|---|-------|-------|---|-------|-------|---|-------|-------|
| Field                                       | Units | Obj1  | Field   | Units | Obj1  | Field   | Units | Obj1  |
| January Ground Temperature                  | C     | 27,34 | January Ground Temperature                        | C     | 28,01 | January Ground Temperature                                | C     | 27,35 |
| February Ground Temperature                 | C     | 27,76 | February Ground Temperature                       | C     | 27,75 | February Ground Temperature                               | C     | 27,24 |
| March Ground Temperature                    | C     | 27,73 | March Ground Temperature                          | C     | 27,8  | March Ground Temperature                                  | C     | 27,24 |
| April Ground Temperature                    | C     | 26,78 | April Ground Temperature                          | C     | 26,87 | April Ground Temperature                                  | C     | 26,52 |
| May Ground Temperature                      | C     | 26,1  | May Ground Temperature                            | C     | 26,19 | May Ground Temperature                                    | C     | 26    |
| June Ground Temperature                     | C     | 25,67 | June Ground Temperature                           | C     | 25,81 | June Ground Temperature                                   | C     | 25,84 |
| July Ground Temperature                     | C     | 24,35 | July Ground Temperature                           | C     | 24,44 | July Ground Temperature                                   | C     | 24,62 |
| August Ground Temperature                   | C     | 26,38 | August Ground Temperature                         | C     | 26,5  | August Ground Temperature                                 | C     | 26,26 |
| September Ground Temperature                | C     | 27,36 | September Ground Temperature                      | C     | 27,4  | September Ground Temperature                              | C     | 26,9  |
| October Ground Temperature                  | C     | 28,36 | October Ground Temperature                        | C     | 28,49 | October Ground Temperature                                | C     | 27,66 |
| November Ground Temperature                 | C     | 27,83 | November Ground Temperature                       | C     | 27,91 | November Ground Temperature                               | C     | 27,29 |
| December Ground Temperature                 | C     | 28,21 | December Ground Temperature                       | C     | 28,27 | December Ground Temperature                               | C     | 27,47 |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

### Limites das Rotinas (*ScheduleTypeLimits*)

Tipo de programação e os limites utilizados na validação de outras programações, como apresenta a Figura A.11.

**Figura A.11 – Classe *ScheduleTypeLimits***

| Field             | Units  | Obj1          |
|-------------------|--------|---------------|
| Name              |        | Qualquer      |
| Lower Limit Value | varies | 0             |
| Upper Limit Value | varies | 1000          |
| Numeric Type      |        | Continuous    |
| Unit Type         |        | Dimensionless |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

### Rotinas (Schedule:Compact)

Refere-se à programação das rotinas utilizadas nas simulações nas condições CM, NV e HVAC. Nesta classe, foi inserido um conjunto de 19 objetos contemplando as rotinas (*schedule*), que podem ser acionadas por outras classes, em função do tipo de simulação que se deseja. Como exemplo, cita-se o caso dos objetos obj18 (Ar\_condicionado\_ON) e Obj19 (Ar\_condicionado\_OFF), no qual, ambos ficam disponíveis nesta classe (*Schedule:Compact*) dos arquivos de dados (.idf) das três condições CM, NV e HVAC. Porém, para simulações nas condições CM e NV, aciona-se a rotina Ar\_condicionado\_OFF e, para a simulação na condição HVAC, aciona-se a rotina Ar\_condicionado\_ON. Este acionamento é feito em outra classe denominada HVAC Modelo de sistema (*Template System*), detalhada na Figura A.12.

Para facilitar a visualização, os 19 objetos foram apresentados em 3 grupos da seguinte forma:

- na Figura A.12 e na Figura A.13: os objetos 1 a 8, referentes à rotina de ocupantes e utilização de equipamentos e iluminação;
- na Figura A.14 e na Figura A.15: os objetos 9 a 11, referentes às tarifas de energia elétrica;
- na Figura A.16: os objetos 12 a 19, referentes às rotinas de utilização de ventilação natural e condicionamento de ar.

**Figura A.12 - Rotinas de ocupação e utilização de equipamentos e iluminação**

| Field      | Units    | Obj1                 | Obj2              | Obj3                   | Obj4              | Obj5                    | Obj6                      | Obj7           | Obj8           |
|------------|----------|----------------------|-------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|---------------------------|----------------|----------------|
| Name       |          | Ocupação Dormitórios | Ocupação Sala     | Iluminação Dormitórios | Iluminação Sala   | Taxa Metabólica Domingo | Taxa Metabólica Assist TV | Total          | Zero           |
| Schedule 1 | Fraction | Fraction             | Fraction          | Fraction               | Fraction          | Any Number              | Any Number                | Any Number     | Any Number     |
| Field 1    | varies   | Through: 12/31       | Through: 12/31    | Through: 12/31         | Through: 12/31    | Through: 12/31          | Through: 12/31            | Through: 12/31 | Through: 12/31 |
| Field 2    | varies   | For: Weekdays        | For: Weekdays     | For: Weekdays          | For: Weekdays     | For: AllDays            | For: AllDays              | For: AllDays   | For: AllDays   |
| Field 3    | varies   | Unit: 07:00          | Unit: 13:00       | Unit: 06:00            | Unit: 16:00       | Unit: 24:00             | Unit: 24:00               | Unit: 24:00    | Unit: 24:00    |
| Field 4    | varies   | 1                    | 0                 | 0                      | 0                 | 81                      | 108                       | 1              | 0              |
| Field 5    | varies   | Unit: 20:00          | Unit: 18:00       | Unit: 07:00            | Unit: 21:00       |                         |                           |                |                |
| Field 6    | varies   | 0                    | .25               | 1                      | 1                 |                         |                           |                |                |
| Field 7    | varies   | Unit: 21:00          | Unit: 19:00       | Unit: 20:00            | Unit: 24:00       |                         |                           |                |                |
| Field 8    | varies   | .5                   | 1                 | 0                      | 0                 |                         |                           |                |                |
| Field 9    | varies   | Unit: 24:00          | Unit: 21:00       | Unit: 22:00            | For: AllOtherDays |                         |                           |                |                |
| Field 10   | varies   | 1                    | .5                | 1                      | Unit: 10:00       |                         |                           |                |                |
| Field 11   | varies   | For: AllOtherDays    | Unit: 23:00       | Unit: 24:00            | 0                 |                         |                           |                |                |
| Field 12   | varies   | Unit: 9:00           | 0                 | 0                      | Unit: 12:00       |                         |                           |                |                |
| Field 13   | varies   | 1                    | Unit: 24:00       | For: AllOtherDays      | 1                 |                         |                           |                |                |
| Field 14   | varies   | Unit: 10:00          | 0                 | Unit: 08:00            | Unit: 16:00       |                         |                           |                |                |
| Field 15   | varies   | .5                   | For: AllOtherDays | 0                      | 0                 |                         |                           |                |                |
| Field 16   | varies   | Unit: 20:00          | Unit: 10:00       | Unit: 09:00            | Unit: 21:00       |                         |                           |                |                |
| Field 17   | varies   | 0                    | 0                 | 1                      | 1                 |                         |                           |                |                |
| Field 18   | varies   | Unit: 21:00          | Unit: 11:00       | Unit: 20:00            | Unit: 24:00       |                         |                           |                |                |
| Field 19   | varies   | .5                   | .25               | 0                      | 0                 |                         |                           |                |                |
| Field 20   | varies   | Unit: 24:00          | Unit: 12:00       | Unit: 22:00            |                   |                         |                           |                |                |
| Field 21   | varies   | 1                    | .75               | 1                      |                   |                         |                           |                |                |
| Field 22   | varies   |                      | Unit: 13:00       | Unit: 24:00            |                   |                         |                           |                |                |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

**Figura A.13 - Rotinas de ocupação e utilização de equipamentos e iluminação (continuação)**

| Field    | Units  | Obj1        | Obj2        | Obj3        | Obj4        | Obj5 | Obj6 | Obj7 | Obj8 |
|----------|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|------|------|------|
| Field 18 | varies | Unit: 21:00 | Unit: 11:00 | Unit: 20:00 | Unit: 24:00 |      |      |      |      |
| Field 19 | varies | .5          | .25         | 0           | 0           |      |      |      |      |
| Field 20 | varies | Unit: 24:00 | Unit: 12:00 | Unit: 22:00 |             |      |      |      |      |
| Field 21 | varies | 1           | .75         | 1           |             |      |      |      |      |
| Field 22 | varies |             | Unit: 13:00 | Unit: 24:00 |             |      |      |      |      |
| Field 23 | varies |             | 0           | 0           |             |      |      |      |      |
| Field 24 | varies |             | Unit: 14:00 |             |             |      |      |      |      |
| Field 25 | varies |             | .75         |             |             |      |      |      |      |
| Field 26 | varies |             | Unit: 17:00 |             |             |      |      |      |      |
| Field 27 | varies |             | .5          |             |             |      |      |      |      |
| Field 28 | varies |             | Unit: 19:00 |             |             |      |      |      |      |
| Field 29 | varies |             | .25         |             |             |      |      |      |      |
| Field 30 | varies |             | Unit: 21:00 |             |             |      |      |      |      |
| Field 31 | varies |             | .50         |             |             |      |      |      |      |
| Field 32 | varies |             | Unit: 24:00 |             |             |      |      |      |      |
| Field 33 | varies |             | 0           |             |             |      |      |      |      |
| Field 34 | varies |             |             |             |             |      |      |      |      |
| Field 35 | varies |             |             |             |             |      |      |      |      |
| Field 36 | varies |             |             |             |             |      |      |      |      |
| Field 37 | varies |             |             |             |             |      |      |      |      |
| Field 38 | varies |             |             |             |             |      |      |      |      |
| Field 39 | varies |             |             |             |             |      |      |      |      |
| Field 39 | varies |             |             |             |             |      |      |      |      |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

**Figura A.14 – Tarifas de energia elétrica**

| Field      | Units  | Obj8           | Obj9                 | Obj10         | Obj11          |
|------------|--------|----------------|----------------------|---------------|----------------|
| Name       |        | Zero           | Sch_Pico             | Sch_Estacao   | Sch_Fora_Pico  |
| Schedule 1 |        | Any Number     | Qualquer             | Qualquer      | Qualquer       |
| Field 1    | varies | Through: 12/31 | Through: 12/31       | Through: 12/3 | Through: 12/31 |
| Field 2    | varies | For: All days  | For: Weekdays        | For: All days | For: All days  |
| Field 3    | varies | Unit: 24:00    | Unit: 19:00          | Unit: 24:00   | Unit: 24:00    |
| Field 4    | varies | 0              | 3                    | 1             | 3              |
| Field 5    | varies |                | Unit: 21:00          |               |                |
| Field 6    | varies |                | 1                    |               |                |
| Field 7    | varies |                | Unit: 24:00          |               |                |
| Field 8    | varies |                | 3                    |               |                |
| Field 9    | varies |                | For: Weekends        |               |                |
| Field 10   | varies |                | Unit: 24:00          |               |                |
| Field 11   | varies |                | 3                    |               |                |
| Field 12   | varies |                | For: Holiday         |               |                |
| Field 13   | varies |                | Unit: 24:00          |               |                |
| Field 14   | varies |                | 3                    |               |                |
| Field 15   | varies |                | For: SummerDesignDay |               |                |
| Field 16   | varies |                | Unit: 24:00          |               |                |
| Field 17   | varies |                | 3                    |               |                |
| Field 18   | varies |                | For: WinterDesignDay |               |                |
| Field 19   | varies |                | Unit: 24:00          |               |                |
| Field 20   | varies |                | 3                    |               |                |
| Field 21   | varies |                | For: CustomDay1      |               |                |
| Field 22   | varies |                | Unit: 24:00          |               |                |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

**Figura A.15 – Tarifas de energia elétrica (continuação)**

The screenshot shows the IDF Editor interface. The Class List on the left includes: [0001] Site:GroundTemperature:BuildingSurface, [0009] ScheduleTypeLimits, [0019] Schedule Compact (highlighted), [0002] Schedule:Constant, [0010] Material, [0002] Material:AirGap, [0001] WindowMaterial:Glazing, [0008] Construction, [0001] GlobalGeometryRules, [0004] Zone, [0030] BuildingSurface:Detailed, and [0013] FenestrationSurface:Detailed. The table below shows the field definitions for the selected object.

| Field    | Units  | Obj8 | Obj9                | Obj10 | Obj11 |
|----------|--------|------|---------------------|-------|-------|
| Field 8  | varies |      | 3                   |       |       |
| Field 9  | varies |      | For:Weekends        |       |       |
| Field 10 | varies |      | Unit: 24.00         |       |       |
| Field 11 | varies |      | 3                   |       |       |
| Field 12 | varies |      | For:Holiday         |       |       |
| Field 13 | varies |      | Unit: 24.00         |       |       |
| Field 14 | varies |      | 3                   |       |       |
| Field 15 | varies |      | For:SummerDesignDay |       |       |
| Field 16 | varies |      | Unit: 24.00         |       |       |
| Field 17 | varies |      | 3                   |       |       |
| Field 18 | varies |      | For:WinterDesignDay |       |       |
| Field 19 | varies |      | Unit: 24.00         |       |       |
| Field 20 | varies |      | 3                   |       |       |
| Field 21 | varies |      | For:CustomDay1      |       |       |
| Field 22 | varies |      | Unit: 24.00         |       |       |
| Field 23 | varies |      | 3                   |       |       |
| Field 24 | varies |      | For:CustomDay2      |       |       |
| Field 25 | varies |      | Unit: 24.00         |       |       |
| Field 26 | varies |      | 3                   |       |       |
| Field 27 | varies |      |                     |       |       |
| Field 28 | varies |      |                     |       |       |
| Field 29 | varies |      |                     |       |       |
| Field 30 | varies |      |                     |       |       |
| Field 31 | varies |      |                     |       |       |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

**Figura A.16: Rotinas de utilização de ventilação natural e condicionamento de ar**

The screenshot shows the IDF Editor interface. The Class List on the left includes: [0001] Site:GroundTemperature:BuildingSurface, [0009] ScheduleTypeLimits, [0019] Schedule Compact (highlighted), [0002] Schedule:Constant, [0010] Material, [0002] Material:AirGap, [0001] WindowMaterial:Glazing, [0008] Construction, [0001] GlobalGeometryRules, [0004] Zone, [0030] BuildingSurface:Detailed, and [0013] FenestrationSurface:Detailed. The table below shows the field definitions for the selected object.

| Field      | Units  | Obj  | C   | C   | Obj12               | Obj13                          | Obj14                    | Obj15          | Obj16                   | Obj17                     | Obj18              | Obj19               |
|------------|--------|------|-----|-----|---------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------|-------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------|
| Name       |        | Obj  | Obj | Obj | Sch_Infiltracao     | Schedule:Ventilation:SelfPoint | ventilacao_portapincipal | Vent Natural   | ventilacao_seleativa_NV | ventilacao_seleativa_HVAC | Ar Condicionado_ON | Ar Condicionado_OFF |
| Schedule 1 |        | F    | F   | F   | Qualquer            | temperatura                    | tracao                   | Any Number     | tracao                  | tracao                    | Any Number         | Any Number          |
| Field 1    | varies | Th   | T   | T   | Through:31 December | Through: 12/31                 | Through: 12/31           | Through: 12/31 | Through: 12/31          | Through: 12/31            | Through: 12/31     | Through: 12/31      |
| Field 2    | varies | For  | F   | F   | For:alldays         | For:Alldays                    | For:Alldays              | For:Alldays    | For:Alldays             | For:Alldays               | For:Alldays        | For:Alldays         |
| Field 3    | varies | Unit | L   | L   | Unit: 24.00         | Unit: 24.00                    | Unit: 24.00              | Unit: 09.00    | Unit: 24.00             | Unit: 8.00                | Unit: 08.00        | Unit: 24.00         |
| Field 4    | varies | 0    | 0   | 0   | 1                   | 20                             | 0                        | 0              | 1                       | 0                         | 1                  | 0                   |
| Field 5    | varies | Unit | L   | L   |                     |                                |                          | Unit: 20.00    |                         | Unit: 21.00               | Unit: 21.00        |                     |
| Field 6    | varies | .25  | 1   | 1   |                     |                                |                          | 1              |                         | 1                         | 0                  |                     |
| Field 7    | varies | Unit | L   | L   |                     |                                |                          | Unit: 24.00    |                         | Unit: 24.00               | Unit: 24.00        |                     |
| Field 8    | varies | 1    | 0   | 0   |                     |                                |                          | 0              |                         | 0                         | 1                  |                     |
| Field 9    | varies | Unit | F   | F   |                     |                                |                          |                |                         |                           |                    |                     |
| Field 10   | varies | 5    | 1   | 1   |                     |                                |                          |                |                         |                           |                    |                     |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

### Material (*Material*)

Nesta classe foram cadastradas as propriedades físicas e térmicas dos materiais da edificação, tais como densidade, calor específico, condutividade, etc. Essas propriedades

foram obtidas na NBR 15.220 (ABNT, 2005). As Figuras A.17 e A.18 ilustram os materiais cadastrados e disponíveis para serem acionados por outra classe denominada construção (*construction*) (Figura A.19).

**Figura A.17 – Material**

| Field               | Units  | Obj1       | Obj2            | Obj3           | Obj4              | Obj5   | Obj6              | Obj7               | Obj8         | Obj9          | Obj10               |
|---------------------|--------|------------|-----------------|----------------|-------------------|--------|-------------------|--------------------|--------------|---------------|---------------------|
| Name                |        | Tijolo Scm | Argamassa Média | Rader Concrete | Piso Ceramico 1cm | PVC    | F08 Metal surface | 101 25mm insulatio | Madeira      | TelhaCeramica | TelhaCeramicaPivada |
| Roughness           |        | Rough      | MediumSmooth    | Rough          | Smooth            | Smooth | Smooth            | MediumFough        | MediumSmooth | MediumFough   | MediumFough         |
| Thickness           | m      | 0.09       | 0.02            | 0.1            | 0.01              | 0.01   | 0.0008            | 0.0254             | 0.035        | 0.01          | 0.01                |
| Conductivity        | W/m-K  | 0.5        | 1.15            | 1.75           | 0.3               | 0.2    | 55                | 0.03               | 0.15         | 0.3           | 0.3                 |
| Density             | kg/m3  | 1600       | 2000            | 2400           | 1600              | 1300   | 7800              | 43                 | 600          | 1600          | 1600                |
| Specific Heat       | J/kg-K | 920        | 1000            | 1000           | 920               | 960    | 460               |                    | 1340         | 920           | 920                 |
| Thermal Absorptance |        | 0.95       | 0.9             | 0.8            | 0.3               |        |                   |                    |              | 0.95          | 0.2                 |
| Solar Absorptance   |        | 0.8        | 0.3             | 0.7            | 0.4               |        |                   |                    |              | 0.8           | 0.2                 |
| Visible Absorptance |        | 0.8        | 0.3             | 0.7            | 0.4               |        |                   |                    |              | 0.8           | 0.2                 |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

**Figura A.18 - Material: camada de ar (*Material: Air Gap*)**

| Field              | Units  | Obj1                     | Obj2                      |
|--------------------|--------|--------------------------|---------------------------|
| Name               |        | cam ar alta emissividade | cam ar baixa emissividade |
| Thermal Resistance | m2-K/W | 0,21                     | 0,61                      |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

### Construção (*Construction*)

Nesta classe foram inseridas as camadas de materiais que compõem os fechamentos da edificação, por tipo de fechamento, da mesma forma para as três condições (CM, NV e HVAC), conforme Figura A.19.

Destaca-se que para a simulações da HISp, a cobertura composta no obj3 (Fig.A.19) acionou telha cerâmica comum (sem pintura) e camada de ar com alta emissividade, disponíveis na classes *Material* e *Material:AirGap*

Para as simulações das HISeT e HISeTPJ, no obj3 (Fig.A.20), acionou-se telha cerâmica pintada e camada de ar com baixa emissividade, disponíveis na classes de objetos *Material* e *Material Air Gap*.

**Figura A.19** – Objetos construção para a HISp

| Field         | Units | Obj1                 | Obj2            | Obj3                     | Obj4         | Obj5              | Obj6          | Obj7            | Obj8              |
|---------------|-------|----------------------|-----------------|--------------------------|--------------|-------------------|---------------|-----------------|-------------------|
| Name          |       | Exterior Floor       | Exterior Wall   | Exterior Roof            | Janela vidro | Exterior Door     | Interior Door | Interior Wall   | Janela veneziana  |
| Outside Layer |       | Radier Concreto 10cm | Argamassa Média | TelhaCeramica            | CLEAR 3MM    | F08 Metal surface | Madeira       | Argamassa Média | F08 Metal surface |
| Layer 2       |       | Piso Ceramico 1cm    | Tijolo 9cm      | cam ar alta emissividade |              |                   |               | Tijolo 9cm      |                   |
| Layer 3       |       |                      | Argamassa Média | PVC                      |              |                   |               | Argamassa Média |                   |
| Layer 4       |       |                      |                 |                          |              |                   |               |                 |                   |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

**Figura A.20-** Objeto utilizado nas HISeT e HISeTPJ

|                           |
|---------------------------|
| Obj3                      |
| Exterior Roof             |
| TelhaCeramicaPintada      |
| cam ar baixa emissividade |
| PVC                       |
|                           |
|                           |

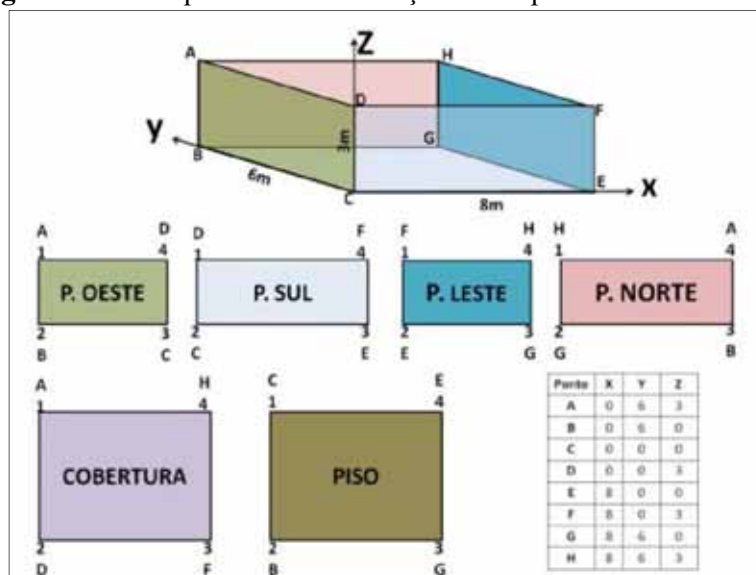
Fonte: Dados da pesquisa da autora

Para a simulações da HISeTPJ também alterou-se objeto 8 que se refere a substituição da veneziana metálica (da HISp e da HISeT) por vidros (da HISeTPJ), nas janelas da sala e dos quartos (Figura A.21).



- b) Superfície específica (*Surface*);
- c) Zona a que a superfície pertence (*Zone*);
- d) Opção para as superfícies em contato com o solo do tipo piso (*Ground*);
- e) Caracteriza as superfícies expostas à radiação solar (*Sun exposure*);
- f) Caracteriza as superfícies expostas à ação do vento (*Wind exposure*);
- g) Define o fator de forma que será utilizado para o cálculo da transferência de calor por radiação térmica entre a superfície e as demais superfícies sendo que o valor padrão é 0,5 (View fator);
- h) Define o número de vértices que a superfície terá, num mínimo 03 e no máximo 120 (Number of vértices);
- i) São as coordenadas nos eixos x, y e z de cada vértice da superfície, VERTEX 1 X-COORDINATE, VERTEX 1 Y-COORDINATE, VERTEX 1 Z-COORDINATE: como ilustrado na Figura A.23.

**Figura A.23-** Esquema de visualização das superfícies de uma zona.



Fonte: Dados da pesquisa da autora

Nota-se que cada superfície é enxergada de “fora-para-dentro”. E a inserção dos vértices é feita no sentido anti-horário, na sequência (1-2-3-4).

### **Classes Rede de fluxo de ar (*Airflow network*) e Padrão de condicionamento de ar (*HVAC template*)**

Os dados inseridos nestes dois conjuntos de classes possibilitam a definição dos controles de ventilação natural e condicionamento de ar.

Os principais campos destas classes estão descritos neste item, sendo primeiramente detalhado o campo “modo de controle de ventilação (*ventilation control model*)”, que pertence à classe “rede de ventilação das zonas (*air flow network multizone surface*)”.

Dentre os modos de controle de ventilação disponíveis no *EnergyPlus*, neste estudo foram utilizados dois, a saber:

a) constante (*constant*): para as simulações nas quais o controle de ventilação deveria seguir exclusivamente a rotina (*shedule*) definida no campo *venting availability schedule name* (a exemplo da Figura A.24), sendo que esta rotina havia sido cadastrada anteriormente, na classe de rotinas (*schedule compact*) (Figura A-12);

b) temperatura (*temperature*): para as simulações nas quais o acionamento do controle de ventilação estava condicionado à validação simultânea de três condições: (1) temperatura interna no ambiente maior que a temperatura externa e (2) temperatura interna no ambiente maior que temperatura estabelecida como *setpoint* (definida no campo rotina *setpoint de temperatura - Ventilation control zone temperatura setpoint schedule*) e (3) obedecer a rotina (*shedule*) definida no campo *venting availability schedule name* (a exemplo da Figura A.24). Estas rotinas haviam sido cadastradas anteriormente, na classe de rotinas (*schedule compact*) (Figura A-12).

Demonstra-se a seguir, o detalhamento da classe rede de ventilação das superfícies das zonas (*Airflow network multizone surface*), em cada uma das três condições de simulação (CM, NV, HVAC).

#### **Para a condição CM foram inseridos 13 objetos (Figuras A.24 e A.25), dentre os quais destacam-se:**

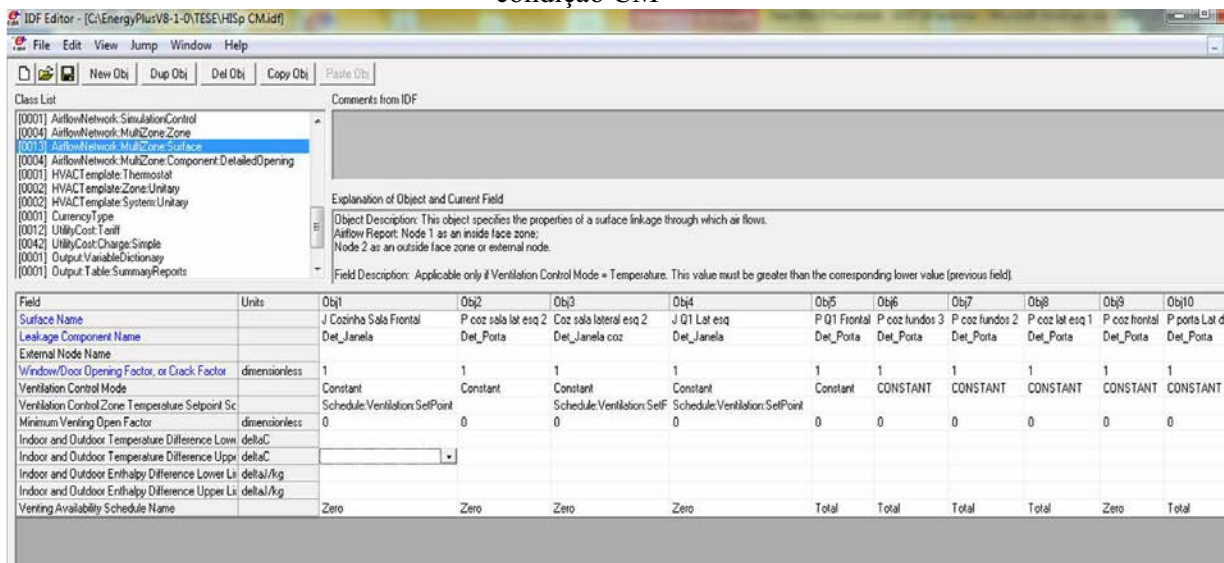
a) para as esquadrias externas permanecerem fechadas: no objeto das referidas esquadrias acionou-se a rotina “zero” no campo “rotina ventilação (*venting availability schedule name*)” (Figura A.24).

b) para as portas internas permanecerem abertas: no objeto das referidas portas selecionou-se a rotina “total” no campo “rotina de ventilação (*venting availability schedule name*)” (Figura A-25);

c) no campo “controle de ventilação (*Ventilation model control*)”: selecionou-se o modo “constante (*constant*)”.

Ressalta-se que as rotinas “zero” e “total” foram cadastradas anteriormente na classe “rotinas (*Schedule compact*)”, ilustrada na Figura A12.

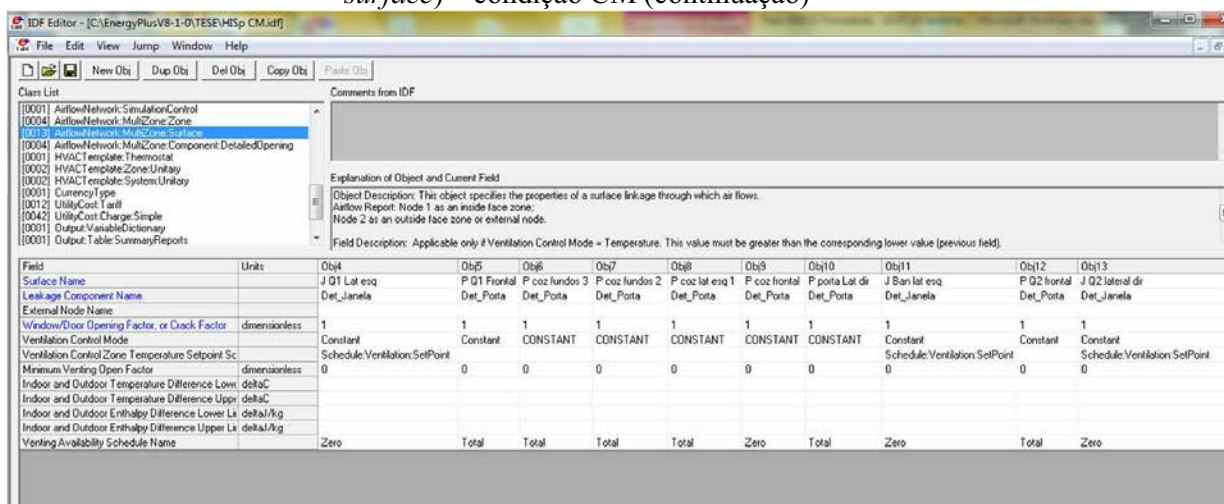
**Figura A.24** – Classe rede de ventilação das zonas (*Airflow network multizone surface*) – condição CM



| Field  | Units                         | Obj1                   | Obj2                | Obj3                  | Obj4        | Obj5         | Obj6           | Obj7           | Obj8           | Obj9          | Obj10          |
|--|-------------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|-------------|--------------|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|
| Surface Name   |                               | J Cozinha Sala Frontal | P coz sala lat eq 2 | Coz sala lateral eq 2 | J Q1 Lat eq | P Q1 Frontal | P coz fundos 3 | P coz fundos 2 | P coz lat eq 1 | P coz frontal | P ports Lat dr |
| Leakage Component Name                                 |                               | Det_Janela             | Det_Porta           | Det_Janela coz        | Det_Janela  | Det_Porta    | Det_Porta      | Det_Porta      | Det_Porta      | Det_Porta     | Det_Porta      |
| External Node Name                                     |                               |                        |                     |                       |             |              |                |                |                |               |                |
| Window/Door Opening Factor, or Crack Factor            | dimensionless                 | 1                      | 1                   | 1                     | 1           | 1            | 1              | 1              | 1              | 1             | 1              |
| Ventilation Control Mode                               |                               | Constant               | Constant            | Constant              | Constant    | Constant     | CONSTANT       | CONSTANT       | CONSTANT       | CONSTANT      | CONSTANT       |
| Ventilation Control Zone Temperature Setpoint Schedule | Schedule:Ventilation:SetPoint |                        |                     |                       |             |              |                |                |                |               |                |
| Minimum Venting Open Factor                            | dimensionless                 | 0                      | 0                   | 0                     | 0           | 0            | 0              | 0              | 0              | 0             | 0              |
| Indoor and Outdoor Temperature Difference Lower Limit  | deltaC                        |                        |                     |                       |             |              |                |                |                |               |                |
| Indoor and Outdoor Temperature Difference Upper Limit  | deltaC                        |                        |                     |                       |             |              |                |                |                |               |                |
| Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Lower Limit     | deltaJ/kg                     |                        |                     |                       |             |              |                |                |                |               |                |
| Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Upper Limit     | deltaJ/kg                     |                        |                     |                       |             |              |                |                |                |               |                |
| Venting Availability Schedule Name                     |                               | Zero                   | Zero                | Zero                  | Zero        | Total        | Total          | Total          | Total          | Zero          | Total          |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

**Figura A.25** - Classe rede de ventilação das zonas (*Airflow network multizone surface*) – condição CM (continuação)



| Field  | Units                         | Obj4        | Obj5         | Obj6           | Obj7           | Obj8           | Obj9          | Obj10          | Obj11                         | Obj12        | Obj13                         |
|--|-------------------------------|-------------|--------------|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|-------------------------------|--------------|-------------------------------|
| Surface Name   |                               | J Q1 Lat eq | P Q1 Frontal | P coz fundos 3 | P coz fundos 2 | P coz lat eq 1 | P coz frontal | P porta Lat dr | J Ban lat eq                  | P Q2 frontal | J Q2 lateral dr               |
| Leakage Component Name                                 |                               | Det_Janela  | Det_Porta    | Det_Porta      | Det_Porta      | Det_Porta      | Det_Porta     | Det_Porta      | Det_Janela                    | Det_Porta    | Det_Janela                    |
| External Node Name                                     |                               |             |              |                |                |                |               |                |                               |              |                               |
| Window/Door Opening Factor, or Crack Factor            | dimensionless                 | 1           | 1            | 1              | 1              | 1              | 1             | 1              | 1                             | 1            | 1                             |
| Ventilation Control Mode                               |                               | Constant    | Constant     | CONSTANT       | CONSTANT       | CONSTANT       | CONSTANT      | CONSTANT       | Constant                      | Constant     | Constant                      |
| Ventilation Control Zone Temperature Setpoint Schedule | Schedule:Ventilation:SetPoint |             |              |                |                |                |               |                | Schedule:Ventilation:SetPoint |              | Schedule:Ventilation:SetPoint |
| Minimum Venting Open Factor                            | dimensionless                 | 0           | 0            | 0              | 0              | 0              | 0             | 0              | 0                             | 0            | 0                             |
| Indoor and Outdoor Temperature Difference Lower Limit  | deltaC                        |             |              |                |                |                |               |                |                               |              |                               |
| Indoor and Outdoor Temperature Difference Upper Limit  | deltaC                        |             |              |                |                |                |               |                |                               |              |                               |
| Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Lower Limit     | deltaJ/kg                     |             |              |                |                |                |               |                |                               |              |                               |
| Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Upper Limit     | deltaJ/kg                     |             |              |                |                |                |               |                |                               |              |                               |
| Venting Availability Schedule Name                     |                               | Zero        | Total        | Total          | Total          | Total          | Zero          | Total          | Zero                          | Total        | Zero                          |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

Para a condição NV foram inseridos 13 objetos (Figuras A.26 e A.27), dentre os quais destacam-se:

a) nos objetos esquadrias externas selecionou-se a rotina “temperatura (*temperature*)”, que permitindo a abertura das mesmas no caso de atendimento das condições : (1) temperatura interna no ambiente maior que a temperatura externa e (2) temperatura interna no ambiente maior que temperatura estabelecida como *setpoint* (definida no campo rotina *setpoint* de temperatura - *Ventilation control zone temperatura setpoint schedule*) e (3) obedecer a rotina “ventilação\_seletiva\_NV”, definida no campo *venting availability schedule name* (Figura A.26).

b) para as portas internas permanecerem abertas nos objeto das referidas portas selecionou-se: (1) a rotina “total” para o campo “rotina de ventilação (*venting availability schedule name*)” (Figura A-25), e (2) o modo “constante (*constant*)” para o campo “controle de ventilação (*Ventilation model control*).

Ressalta-se que as rotinas “ventilação\_seletiva\_NV” e “total” foram cadastradas anteriormente na classe “rotinas (*Schedule compact*)”, ilustrada na Figura A12.

**Figura A.26** - Classe rede de ventilação das zonas (*Airflow network multizone surface*) – condição NV

| Field  | Units         | Obj1                          | Obj2                     | Obj3                          | Obj4                          | Obj5         | Obj6           | Obj7           | Obj8           | Obj9                |
|--|---------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|
| Surface Name   |               | J Cozinha Sala Frontal        | P coz sala lat eq 2      | Coz sala lateral eq 2         | J Q1 Lat eq                   | P Q1 Frontal | P coz fundos 3 | P coz fundos 2 | P coz lat eq 1 | P coz frontal       |
| Leakage Component Name                                 |               | Det_Janela                    | Det_Porta                | Det_Janela coz                | Det_Janela                    | Det_Porta    | Det_Porta      | Det_Porta      | Det_Porta      | Det_Porta           |
| External Node Name                                     |               |                               |                          |                               |                               |              |                |                |                |                     |
| Window/Door Opening Factor, or Crack Factor            | dimensionless | 1                             | 1                        | 1                             | 1                             | 1            | 1              | 1              | 1              | 1                   |
| Ventilation Control Mode                               |               | Temperature                   | CONSTANT                 | Temperature                   | Temperature                   | CONSTANT     | CONSTANT       | CONSTANT       | CONSTANT       | CONSTANT            |
| Ventilation Control Zone Temperature Setpoint Schedule |               | Schedule:Ventilation:SetPoint |                          | Schedule:Ventilation:SetPoint | Schedule:Ventilation:SetPoint |              |                |                |                |                     |
| Minimum Venting Open Factor                            | dimensionless | 0                             | 0                        | 0                             | 0                             | 0            | 0              | 0              | 0              | 0                   |
| Indoor and Outdoor Temperature Difference Lower Limit  | deltaC        |                               |                          |                               |                               |              |                |                |                |                     |
| Indoor and Outdoor Temperature Difference Upper Limit  | deltaC        |                               |                          |                               |                               |              |                |                |                |                     |
| Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Lower Limit For | deltaJ/kg     |                               |                          |                               |                               |              |                |                |                |                     |
| Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Upper Limit For | deltaJ/kg     |                               |                          |                               |                               |              |                |                |                |                     |
| Venting Availability Schedule Name                     |               | ventilacao_seletiva_NV        | ventilacao_portapincipal | ventilacao_seletiva_NV        | ventilacao_seletiva_NV        | Total        | Total          | Total          | Zero           | ventilacao_portapri |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

**Figura A.27-** Classe rede de ventilação das zonas (*Airflow network multizone surface*) – condição NV (continuação)

| Field  | Units         | Obj5         | Obj6           | Obj7           | Obj8           | Obj9                     | Obj10           | Obj11                         | Obj12        | Obj13                         |
|--|---------------|--------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------|-----------------|-------------------------------|--------------|-------------------------------|
| Surface Name   |               | P Q1 Frontal | P coz fundos 3 | P coz fundos 2 | P coz lat eq 1 | P coz frontal            | P porta Lat dir | J Ban lat eq                  | P Q2 frontal | J Q2 lateral dir              |
| Leakage Component Name   |               | Det_Porta    | Det_Porta      | Det_Porta      | Det_Porta      | Det_Porta                | Det_Porta       | Det_Janela                    | Det_Porta    | Det_Janela                    |
| External Node Name   |               |              |                |                |                |                          |                 |                               |              |                               |
| Window/Door Opening Factor, or Crack Factor                        | dimensionless | 1            | 1              | 1              | 1              | 1                        | 1               | 1                             | 1            | 1                             |
| Ventilation Control Mode   |               | CONSTANT     | CONSTANT       | CONSTANT       | CONSTANT       | CONSTANT                 | CONSTANT        | Temperature                   | CONSTANT     | Temperature                   |
| Ventilation Control Zone Temperature Setpoint Schedule             |               |              |                |                |                |                          |                 | Schedule:Ventilation SetPoint |              | Schedule:Ventilation SetPoint |
| Minimum Venting Open Factor  | dimensionless | 0            | 0              | 0              | 0              | 0                        | 0               | 0                             | 0            | 0                             |
| Indoor and Outdoor Temperature Difference Lower Limit              | deltaC        |              |                |                |                |                          |                 |                               |              |                               |
| Indoor and Outdoor Temperature Difference Upper Limit              | deltaC        |              |                |                |                |                          |                 |                               |              |                               |
| Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Lower Limit For Ventilation | deltaJ/kg     |              |                |                |                |                          |                 |                               |              |                               |
| Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Upper Limit For Ventilation | deltaJ/kg     |              |                |                |                |                          |                 |                               |              |                               |
| Venting Availability Schedule Name                                 |               | Total        | Total          | Total          | Zero           | ventilacao_portapincipal | Zero            | ventilacao_seletiva_NV        | Total        | ventilacao_seletiva_NV        |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

Para a condição HVAC foram inseridos 13 objetos (Figuras A.28 e A.29), dentre os quais destacam-se:

a) nos objetos esquadrias externas e portas internas selecionou-se a rotina “temperatura (*temperature*)”, que permitindo a abertura das mesmas no caso de atendimento das condições : (1) temperatura interna no ambiente maior que a temperatura externa e (2) temperatura interna no ambiente maior que temperatura estabelecida como *setpoint* (definida no campo rotina *setpoint* de temperatura - *Ventilation control zone temperatura setpoint schedule*) e (3) obedecer a rotina “ventilação\_seletiva\_HVAC”, definida no campo *venting availability schedule name* (Figura A.26).

Ressalta-se que as rotinas “ventilação\_seletiva\_HVAC” e “total” foram cadastradas anteriormente na classe “rotinas (*Schedule compact*)”, ilustrada na Figura A12.

**Figura A.28-** Classe rede de ventilação das zonas (*Airflow network multizone surface*) – condição HVAC



Fonte: Dados da pesquisa da autora

**Figura A.29-** Classe rede de ventilação das zonas (*Airflow network multizone surface*) – condição HVAC (continuação)



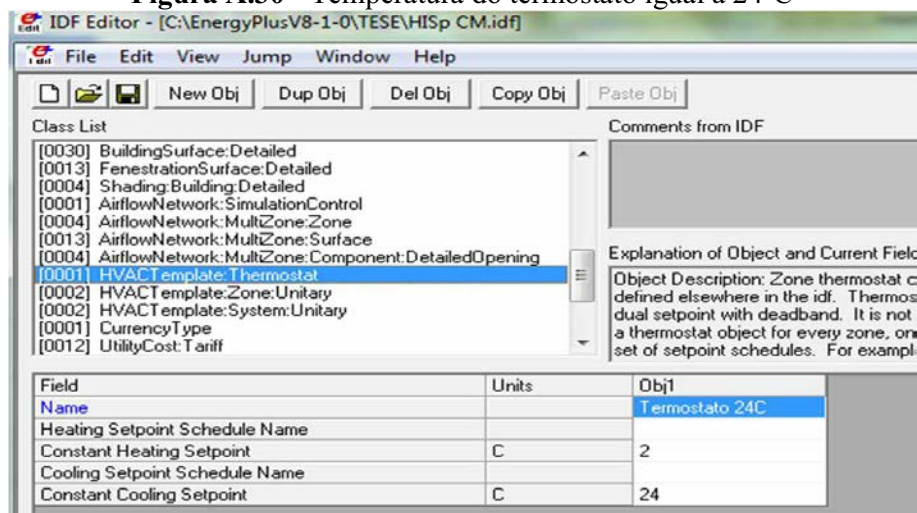
Fonte: Dados da pesquisa da autora

O detalhamento da classe *HVAC template*, utilizada nas três condições de simulação (CM, NV, HVAC) é demonstrado a seguir.

### Classe termostato (HVAC: Template: Thermostat)

Os dados desta classe foram inseridos conforme Figura A.30, estabelecendo-se o valor do termostato do condicionamento de ar igual a 24°C.

**Figura A.30** - Temperatura do termostato igual a 24°C

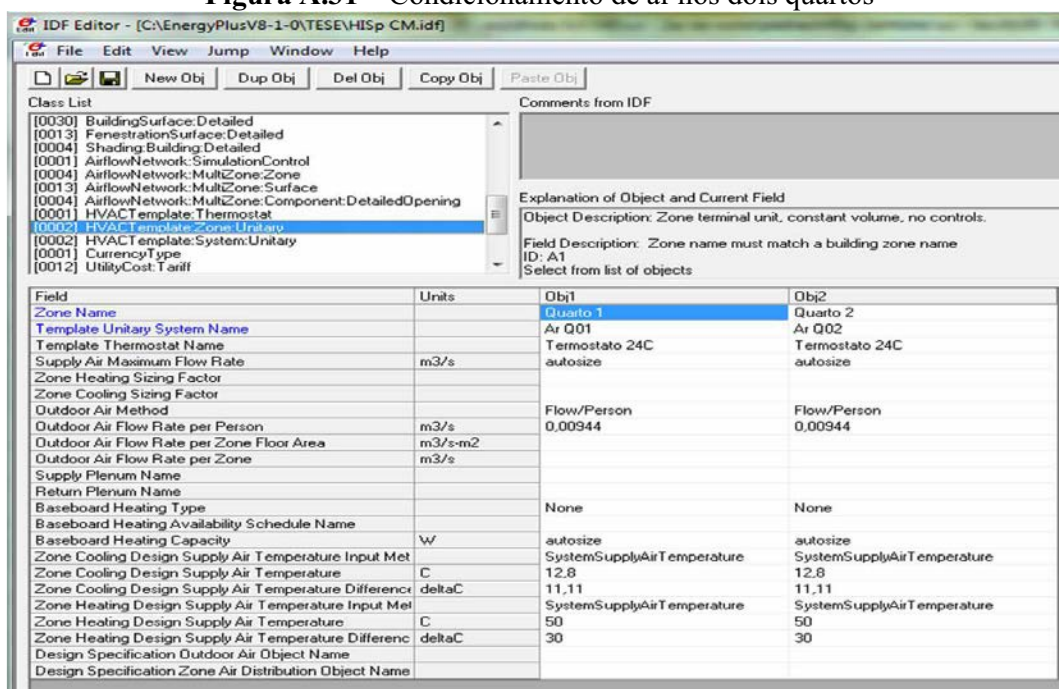


Fonte: Dados da pesquisa da autora

### Zonas condicionadas (HVAC Template ZoneUnitary)

Os dados desta classe foram inseridos conforme Figura A.31, sendo estabelecendo-se condicionamento de ar nos dois quartos.

**Figura A.31** – Condicionamento de ar nos dois quartos



Fonte: Dados da pesquisa da autora

### Sistema de condicionamento de ar (*HVAC Template SystemUnitary*)

Para as simulações nas condições CM e NV, os dados desta classe foram inseridos conforme Figuras A.32 e A.33, selecionando-se a rotina “Ar\_condicionado\_OFF” no campo “nome da rotina do sistema (*System Availability Schedule Name*)”.

Para as simulações na condição HVAC, os dados desta classe foram inseridos conforme Figuras A.34 e A.35, selecionando-se a rotina “Ar\_condicionado\_ON” no campo “nome da rotina do sistema (*System Availability Schedule Name*)”.

Ressalta-se que as rotinas Ar\_condicionado\_OFF e Ar\_condicionado\_ON, haviam sido criadas anteriormente, na classe rotinas (*schedule compact* – Figura A.12).

**Figura A.32 – Condições CM e NV**

| Field  | Units             | Obj1   | Obj2   |
|--|-------------------|--|--|
| Name   |                   | Ar 001   | Ar 002   |
| System Availability Schedule Name            |                   | Ar Condicionado_OFF                              | Ar Condicionado_OFF                              |
| Control Zone or Thermostat Location Name     |                   | Quarto 1   | Quarto 2   |
| Supply Fan Maximum Flow Rate                 | m <sup>3</sup> /s | autosize   | autosize   |
| Supply Fan Operating Mode Schedule Name      |                   | HVACTemplate:SystemUnitary:001CyclingFanSchedule | HVACTemplate:SystemUnitary:002CyclingFanSchedule |
| Supply Fan Total Efficiency                  |                   | 0.7  | 0.7  |
| Supply Fan Delta Pressure                    | Pa                | 600  | 600  |
| Supply Fan Motor Efficiency                  |                   | 0.9  | 0.9  |
| Supply Fan Motor in Air Stream Fraction      |                   | 1  | 1  |
| Cooling Coil Type                            |                   | SingleSpeedDX                                    | SingleSpeedDX                                    |
| Cooling Coil Availability Schedule Name      |                   | Ar Condicionado_OFF                              | Ar Condicionado_OFF                              |
| Cooling Design Supply Air Temperature        | C                 | 12.8   | 12.8   |
| Cooling Coil Gross Rated Total Capacity      | W                 | autosize   | autosize   |
| Cooling Coil Gross Rated Sensible Heat Ratio |                   | autosize   | autosize   |
| Cooling Coil Gross Rated COP                 | W/W               | 3  | 3  |
| Heating Coil Type                            |                   | Electric   | Electric   |
| Heating Coil Availability Schedule Name      |                   | Zero   | Zero   |
| Heating Design Supply Air Temperature        | C                 | 50   | 50   |
| Heating Coil Capacity                        | W                 | autosize   | autosize   |
| Gas Heating Coil Efficiency                  |                   | 0.8  | 0.8  |
| Gas Heating Coil Parasitic Electric Load     | W                 |  |  |
| Maximum Outdoor Air Flow Rate                | m <sup>3</sup> /s | autosize   | autosize   |
| Minimum Outdoor Air Flow Rate                | m <sup>3</sup> /s | autosize   | autosize   |
| Minimum Outdoor Air Schedule Name            |                   |  |  |
| Freezeover Time                              |                   | NaN  | NaN  |

**Fonte:** Dados da pesquisa da autora

Figura A.33 – Condições CM e NV (continuação)

The screenshot shows a software interface with a 'Class List' on the left and a table of field values on the right. The 'Class List' includes items like 'BuildingSurface:Detailed', 'HVACTemplate:Zone:Unitary', and 'HVACTemplate:System:Unitary'. The table below lists various fields and their values for two objects, Obj1 and Obj2.

| Field   | Units             | Obj1         | Obj2         |
|---|-------------------|--------------|--------------|
| Minimum Outdoor Air Schedule Name             |                   |              |              |
| Economizer Type                               |                   | NoEconomizer | NoEconomizer |
| Economizer Lockout                            |                   | NoLockout    | NoLockout    |
| Economizer Upper Temperature Limit            | C                 |              |              |
| Economizer Lower Temperature Limit            | C                 |              |              |
| Economizer Upper Enthalpy Limit               | J/kg              |              |              |
| Economizer Maximum Limit Dewpoint Temperature | C                 |              |              |
| Supply Plenum Name                            |                   |              |              |
| Return Plenum Name                            |                   |              |              |
| Supply Fan Placement                          |                   | BlowThrough  | BlowThrough  |
| Night Cycle Control                           |                   | StayOff      | StayOff      |
| Night Cycle Control Zone Name                 |                   |              |              |
| Heat Recovery Type                            |                   | None         | None         |
| Sensible Heat Recovery Effectiveness          |                   | 0,7          | 0,7          |
| Latent Heat Recovery Effectiveness            |                   | 0,65         | 0,65         |
| Dehumidification Control Type                 |                   | None         | None         |
| Dehumidification Control Zone Name            |                   |              |              |
| Dehumidification Setpoint                     | percent           | 50           | 50           |
| Humidifier Type                               |                   | None         | None         |
| Humidifier Availability Schedule Name         |                   |              |              |
| Humidifier Rated Capacity                     | m <sup>3</sup> /s | 0,000001     | 0,000001     |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

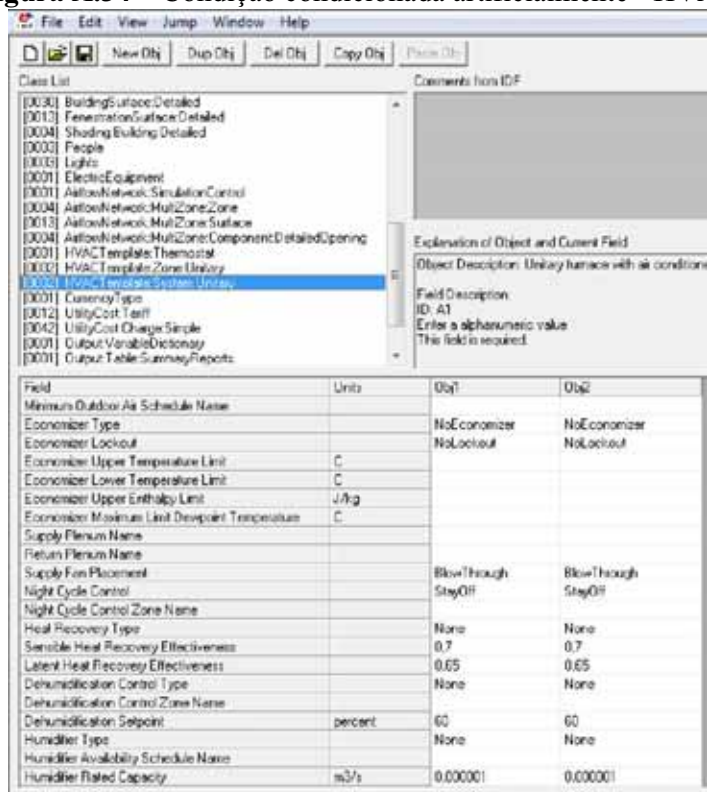
Figura A.34 – Condição condicionada artificialmente - HVAC

The screenshot shows a software interface with a 'Class List' on the left and a table of field values on the right. The 'Class List' includes items like 'HVACTemplate:Zone:Unitary' and 'HVACTemplate:System:Unitary'. The table below lists various fields and their values for two objects, Obj1 and Obj2.

| Field  | Units             | Obj1  | Obj2  |
|--|-------------------|---|---|
| Name   |                   | Air Q01   | Air Q02   |
| System Availability Schedule Name            |                   | Air Condicionado_ON                                 | Air Condicionado_ON                                 |
| Control Zone or Thermostat Location Name     |                   | Quarto 1  | Quarto 2  |
| Supply Fan Maximum Flow Rate                 | m <sup>3</sup> /s | autosize  | autosize  |
| Supply Fan Operating Mode Schedule Name      |                   | HVACTemplate:System:Unitary:V_001CyclingFanSchedule | HVACTemplate:System:Unitary:V_002CyclingFanSchedule |
| Supply Fan Total Efficiency                  |                   | 0,7   | 0,7   |
| Supply Fan Delta Pressure                    | Pa                | 500   | 500   |
| Supply Fan Motor Efficiency                  |                   | 0,9   | 0,9   |
| Supply Fan Motor in Air Stream Fraction      |                   | 1   | 1   |
| Cooling Coil Type                            |                   | SingleSpeedDX                                       | SingleSpeedDX                                       |
| Cooling Coil Availability Schedule Name      |                   | Air Condicionado_ON                                 | Air Condicionado_ON                                 |
| Cooling Design Supply Air Temperature        | C                 | 12,8  | 12,8  |
| Cooling Coil Gross Rated Total Capacity      | W                 | autosize  | autosize  |
| Cooling Coil Gross Rated Sensible Heat Ratio |                   | autosize  | autosize  |
| Cooling Coil Gross Rated COP                 | W/W               | 3   | 3   |
| Heating Coil Type                            |                   | Electric  | Electric  |
| Heating Coil Availability Schedule Name      |                   | Zero  | Zero  |
| Heating Design Supply Air Temperature        | C                 | 50  | 50  |
| Heating Coil Capacity                        | W                 | autosize  | autosize  |
| Gas Heating Coil Efficiency                  |                   | 0,8   | 0,8   |
| Gas Heating Coil Parasitic Electric Load     | W                 | autosize  | autosize  |
| Maximum Outdoor Air Flow Rate                | m <sup>3</sup> /s | autosize  | autosize  |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

**Figura A.34** – Condição condicionada artificialmente - HVAC



Fonte: Dados da pesquisa da autora

### Tarifação

O *EnergyPlus* possui um bloco de classes de objetos direcionados à análise econômica da energia requerida pela edificação, que foi configurada para simular a fatura de energia elétrica da edificação analisada. A seguir descreveu-se a configuração do *EnergyPlus* para a tarifa Convencional (Conv), Horária Verde (HV), Horária Azul (HA), Consumidor Livre (CL) e Residencial (R1).

#### Tipo de moeda (CurrencyType)

Objeto utilizado para especificar a moeda (símbolo monetário) utilizada no relatório econômico. Para o Real (R\$) utiliza-se o código padrão BRL

#### Tarifa (UtilityCost:Tariff)

Define a modalidade tarifária e os elementos para compor o valor da fatura de energia elétrica total. As Figura A.35 e a Figura A.36 apresentam a configuração utilizada para as modalidades tarifárias HV, HA, Conv, B1 e CL.

Figura A.35 – Classe Tarifas

| Field                                   | Units | Obj1                 | Obj2                 | Obj3                 | Obj4                 | Obj5                 | Obj6                 |
|---|-------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Name                                    |       | HSAVersaio           | HSAVersaio           | HSAVersaio           | HSAVersaio           | HSAVersaio           | HSAVersaio           |
| Output Meter Name                       |       | electricity:facility | electricity:facility | electricity:facility | electricity:facility | electricity:facility | electricity:facility |
| Conversion Factor Choice                |       | kWh                  | kWh                  | kWh                  | kWh                  | kWh                  | kWh                  |
| Energy Conversion Factor                |       |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
| Demand Conversion Factor                |       |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
| Time of Use Period Schedule Name        |       | Sch_Pico             | Sch_Pico             | Sch_Pico             | Sch_Pico             | Sch_Pico             | Sch_Pico             |
| Season Schedule Name                    |       | Sch_Estacao          | Sch_Estacao          | Sch_Estacao          | Sch_Estacao          | Sch_Estacao          | Sch_Estacao          |
| Month Schedule Name                     |       |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
| Demand Window Length                    |       | QuarterHour          | QuarterHour          | QuarterHour          | QuarterHour          | QuarterHour          | QuarterHour          |
| Monthly Charge or Variable Name         |       |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
| Minimum Monthly Charge or Variable Name |       |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
| Real Time Pricing Charge Schedule Name  |       |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
| Customer Baseline Load Schedule Name    |       |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
| Group Name                              |       | A4                   | A4                   | A4                   | A4                   | A4                   | A4                   |
| Buy Or Sell                             |       | BuyFromUtility       | BuyFromUtility       | BuyFromUtility       | BuyFromUtility       | BuyFromUtility       | BuyFromUtility       |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

Figura A.36 – Tarifas (continuação)

| Field                                   | Obj1                 | Obj2                 | Obj3                 | Obj4                 | Obj5                 | Obj6                 | Obj7                 | Obj8                 | Obj9                 |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Name                                    | HSAVersaio           | HSAVersaio           | HSAVersaio           | HSAVersaio           | HSAVersaio           | HSAVersaio           | HSAVersaio           | HSAVersaio           | HSAVersaio           |
| Output Meter Name                       | electricity:facility | electricity:facility | electricity:facility | electricity:facility | electricity:facility | electricity:facility | electricity:facility | electricity:facility | electricity:facility |
| Conversion Factor Choice                | kWh                  | kWh                  | kWh                  | kWh                  | kWh                  | kWh                  | kWh                  | kWh                  | kWh                  |
| Energy Conversion Factor                |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
| Demand Conversion Factor                |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
| Time of Use Period Schedule Name        | Sch_Pico             | Sch_Pico             | Sch_Pico             | Sch_Pico             | Sch_Pico             | Sch_Pico             | Sch_Pico             | Sch_Pico             | Sch_Pico             |
| Season Schedule Name                    | Sch_Estacao          | Sch_Estacao          | Sch_Estacao          | Sch_Estacao          | Sch_Estacao          | Sch_Estacao          | Sch_Estacao          | Sch_Estacao          | Sch_Estacao          |
| Month Schedule Name                     |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
| Demand Window Length                    | QuarterHour          | QuarterHour          | QuarterHour          | QuarterHour          | QuarterHour          | QuarterHour          | QuarterHour          | QuarterHour          | QuarterHour          |
| Monthly Charge or Variable Name         |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
| Minimum Monthly Charge or Variable Name |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
| Real Time Pricing Charge Schedule Name  |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
| Customer Baseline Load Schedule Name    |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
| Group Name                              | A4                   | A4                   | A4                   | A4                   | A4                   | A4                   | A4                   | B1                   | CL                   |
| Buy Or Sell                             | BuyFromUtility       | BuyFromUtility       | BuyFromUtility       | BuyFromUtility       | BuyFromUtility       | BuyFromUtility       | BuyFromUtility       | BuyFromUtility       | BuyFromUtility       |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

Conforme ilustram as Figuras citadas, foi criada a rotina *Sch\_Pico* sinalizando o Posto Tarifário.

### Definição de consumo e demanda (*UtilityCost:Charge:Simple*)

Este é um dos objetos mais utilizados para o cálculo da fatura de energia de forma simplificada. Foi utilizado para calcular consumo e demanda, podendo também ser utilizado para acrescentar impostos, taxa e outros encargos que se fizerem necessários. Na Figura A.37 mostra-se a definição desta classe para a tarifa HV, no sistema de bandeiras tarifárias.

**Figura A.37 - Classe *UtilityCost:Charge:Simple***

| Field                                | Units | Obj10         | Obj11         | Obj12          | Obj13         | Obj14          | Obj15           | Obj16         | Obj17          | Obj18           |
|--------------------------------------|-------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|-----------------|---------------|----------------|-----------------|
| Name                                 |       | CP_HSVVerde   | CP_HSVAmarelo | CP_HSVVermelho | CFP_HSVVerde  | CFP_HSVAmarelo | CFP_HSVVermelho | DEM_HSVVerde  | DEM_HSVAmarelo | DEM_HSVVermelho |
| Tariff Name                          |       | HSVVerde      | HSVAmarelo    | HSVVermelho    | HSVVerde      | HSVAmarelo     | HSVVermelho     | HSVVerde      | HSVAmarelo     | HSVVermelho     |
| Source Variable                      |       | peakenergy    | peakenergy    | peakenergy     | offpeakenergy | offpeakenergy  | offpeakenergy   | TotalDemand   | TotalDemand    | TotalDemand     |
| Season                               |       | Annual        | Annual        | Annual         | Annual        | Annual         | Annual          | Annual        | Annual         | Annual          |
| Category Variable Name               |       | EnergyCharges | EnergyCharges | EnergyCharges  | EnergyCharges | EnergyCharges  | EnergyCharges   | DemandCharges | DemandCharges  | DemandCharges   |
| Cost per Unit Value or Variable Name |       | 1.03314       | 1.04614       | 1.06314        | 0.19211       | 0.2071         | 0.2211          | 9.83          | 9.83           | 9.83            |

| Field                                | Units | Obj10         | Obj11         | Obj12          | Obj13         | Obj14          | Obj15           | Obj16         | Obj17          | Obj18           |
|--------------------------------------|-------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|-----------------|---------------|----------------|-----------------|
| Name                                 |       | CP_HSVVerde   | CP_HSVAmarelo | CP_HSVVermelho | CFP_HSVVerde  | CFP_HSVAmarelo | CFP_HSVVermelho | DEM_HSVVerde  | DEM_HSVAmarelo | DEM_HSVVermelho |
| Tariff Name                          |       | HSVVerde      | HSVAmarelo    | HSVVermelho    | HSVVerde      | HSVAmarelo     | HSVVermelho     | HSVVerde      | HSVAmarelo     | HSVVermelho     |
| Source Variable                      |       | peakenergy    | peakenergy    | peakenergy     | offpeakenergy | offpeakenergy  | offpeakenergy   | TotalDemand   | TotalDemand    | TotalDemand     |
| Season                               |       | Annual        | Annual        | Annual         | Annual        | Annual         | Annual          | Annual        | Annual         | Annual          |
| Category Variable Name               |       | EnergyCharges | EnergyCharges | EnergyCharges  | EnergyCharges | EnergyCharges  | EnergyCharges   | DemandCharges | DemandCharges  | DemandCharges   |
| Cost per Unit Value or Variable Name |       | 1.03314       | 1.04614       | 1.06314        | 0.19211       | 0.2071         | 0.2211          | 9.83          | 9.83           | 9.83            |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

### Estilo da Tabela de saída de dados (*OutputControl:Table:Style*)

Este objeto permitiu a padronização dos relatórios. O estilo HTML produziu a geração de um arquivo possível de ser aberto através de navegador de internet. A unidade de conversão *JtoKWH* converte de Joules para kWh, como mostrado na Figura A.38.

**Figura A.38 - Classe: Estilo do relatório de saída (*OutputControl:Table:Style*)**

| Field            | Units | Obj1   |
|------------------|-------|--------|
| Column Separator |       | HTML   |
| Unit Conversion  |       | JtoKWH |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

### Variável de saída (*Output:Variable*)

Este objeto foi usado para solicitar um relatório de resultados de variáveis. O *EnergyPlus* oferece uma variedade de variáveis de saída em várias frequências. A Figura A.39 ilustra a solicitação do relatório de saída (*output*) contendo dados da temperaturas horárias externa de bulbo seco e interna das zonas.

**Figura A.39 – Classe: variáveis do relatório de saída (*Output:Variable*)**

| Field               | Units | Obj1                                 | Obj2                      |
|---------------------|-------|--------------------------------------|---------------------------|
| Key Value           |       |                                      |                           |
| Variable Name       |       | Site Outdoor Air Drybulb Temperature | Zone Mean Air Temperature |
| Reporting Frequency |       | Hourly                               | Hourly                    |
| Schedule Name       |       |                                      |                           |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

## APÊNDICE B: CÁLCULO DA TEMPERATURA DO SOLO UTILIZANDO O SLAB

### Simulação para fins de determinação da temperatura do solo (LABEE, 2011b)

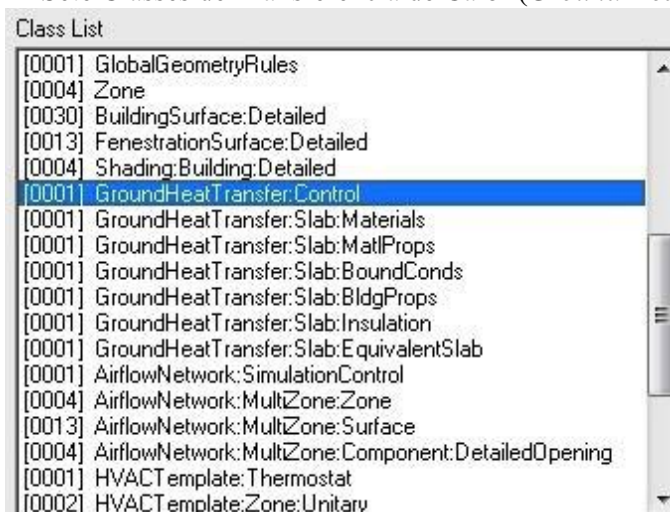
As edificações em contato com o solo, no programa *EnergyPlus*, podem ser simuladas de duas maneiras: inserindo as temperaturas médias mensais do solo diretamente no objeto *Site:GroundTemperature:BuildingSurface*; ou utilizando o objeto *Detailed Ground Heat Transfer*, permitindo obter resultados mais precisos. Neste último objeto, deve-se optar entre dois pré-processadores: o *Slab* e o *Basement*.

Tanto o pré-processador *Slab*, quanto o *Basement*, simulam a influência que o solo exerce nas temperaturas da edificação e vice-versa, num processo iterativo. O *Slab* é utilizado em casos de edificações que possuem lajes em contato com o solo, ou seja, apoiadas diretamente no solo. De outra forma, o *Basement* é utilizado em edificações que possuem partes enterradas, como por exemplo, uma garagem ou um porão.

Neste estudo foi utilizado o *Slab* considerando que a HIS é apoiada diretamente sobre o solo, sendo detalhados neste item os parâmetros e os procedimentos utilizados para a obtenção das temperaturas do solo através do referido pré-processador.

No arquivo de dados do *EnergyPlus* (extensão .idf), foram inseridas sete classes referentes aos parâmetros do detalhamento da transferência de calor do solo (*Detailed Ground Heat Transfer*), conforme Figura B.1.

**Figura B.1** - Sete Classes de Transferência de Calor (*Ground Heat Transfer*)

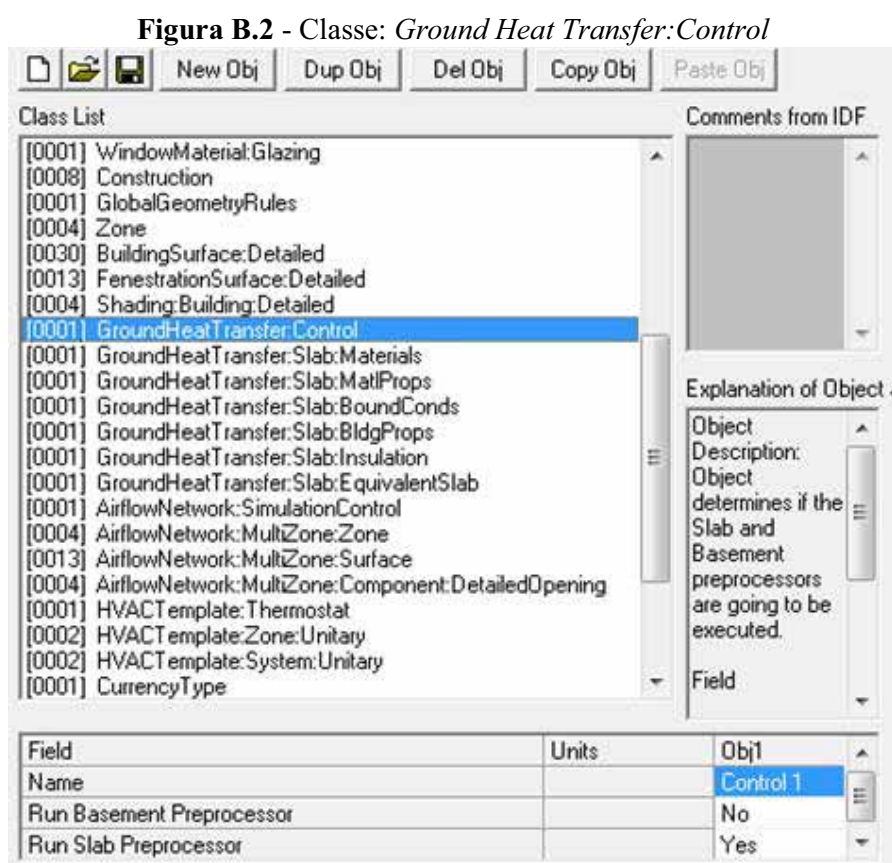


Fonte: Dados da pesquisa da autora

A seguir estão descritos os campos e objetos das sete classes, bem como os valores adotados neste estudo.

a) *Ground Heat Transfer:Control*

Neste objeto determina-se qual pré-processador será adotado. No caso deste estudo foi adotado o *Slab*, conforme Figura B.2.



Fonte: Dados da pesquisa da autora

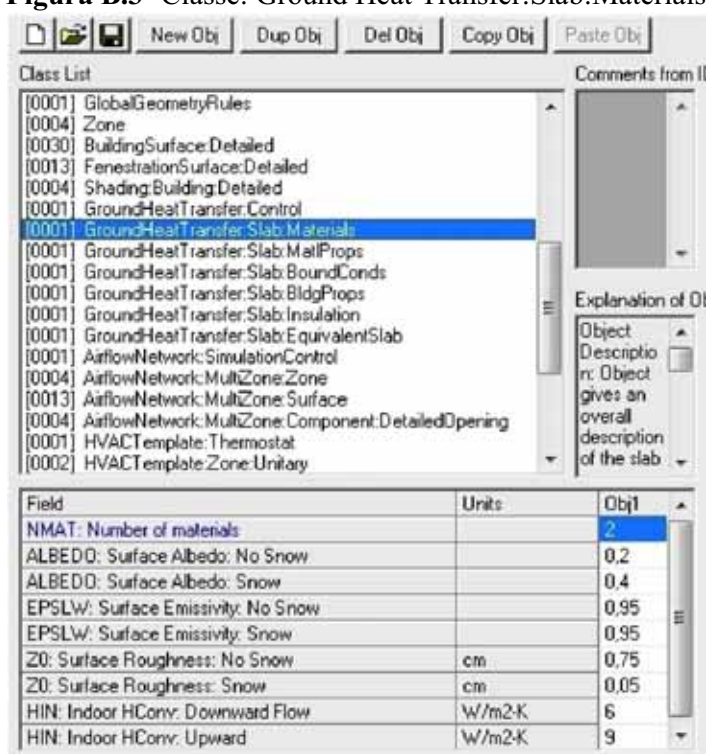
Descrição dos campos deste objeto:

- a.1) *Name*: o nome atribuído ao sistema de controle;
- a.2) *Run Basement Preprocessor*: *No*, pois o pré-processador *Basement* não foi utilizado neste estudo;
- a.3) *Run Slab Preprocessor*: *Yes*, para selecionar o pré-processador *Slab*.

b) *Ground Heat Transfer:Slab:Materials*

Este parâmetro permitiu a definição do número e as propriedades da superfície dos materiais (do solo e da laje em contato com o solo) que compõe o modelo de transferência de calor através do solo, conforme Figura B.3.

**Figura B.3-** Classe: Ground Heat Transfer:Slab:Materials



Fonte: Dados da pesquisa da autora

Descrição dos campos deste objeto:

a.1) *NMAT: Number of materials*

Número de materiais diferentes que foram utilizados no modelo de transferência de calor entre o solo e a edificação igual a 2 (laje e solo);

a.2) *ALBEDO: Surface Albedo: No Snow*

Valor do albedo (refletância solar) da superfície do solo sem neve que varia entre 0 e 1. Quanto mais escura é a superfície, menor é o albedo. Apesar de variar bastante de acordo com o tipo de solo, o valor default recomendado pelo programa *EnergyPlus* é de 0.16. Entretanto, neste estudo foi adotado o valor de 0,2 conforme Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LABEEE (2011b);

a.3) *ALBEDO: Surface Albedo: Snow*

Valor do albedo (refletância solar) da superfície do solo com neve que varia entre 0 e 1. Quanto mais clara é a superfície, maior é o albedo. O valor default recomendado pelo programa *EnergyPlus* é de 0,4, que foi adotado neste estudo;

a.4) *EPSLW:Surface Emissivity:No Snow*

Comprimento de onda longa da emissividade da superfície do solo sem a presença de neve. Através deste parâmetro considera-se a radiação emitida pelo solo, sem neve, para o céu durante a noite. O valor default recomendado pelo programa *EnergyPlus* para este parâmetro é 0,94. Entretanto, neste estudo foi adotado o valor de 0,95 conforme LABEEE (2011b);

a.5) *EPSLW:Surface Emissivity:Snow* = comprimento de onda longa da emissividade da superfície do solo com a presença de neve. Através deste parâmetro considera-se a radiação emitida pelo solo, coberto de neve, para o céu durante a noite. O valor default recomendado pelo programa *EnergyPlus* para este parâmetro é 0,86. Entretanto, neste estudo foi adotado o valor de 0,95 conforme LABEEE (2011b).

a.6) *Z0:Surface Roughness:No Snow* = rugosidade da superfície a ser utilizada na determinação do coeficiente de transferência de calor por convecção, entre a superfície do solo e o ar (sem a presença de neve). A rugosidade é baseada em considerações de camada limite e especifica a altura em que um perfil de velocidade (medido experimentalmente) tende a zero. O valor típico desta altura é de 0.75 cm para os casos sem a presença de neve, cujo valor foi adotado neste estudo.

a.7) *Z0:Surface Roughness:Snow* = rugosidade da superfície a ser utilizada na determinação do coeficiente de transferência de calor por convecção, entre a superfície do solo e o ar (com a presença de neve). A rugosidade é baseada em considerações de camada limite e especifica a altura em que um perfil de velocidade (medido experimentalmente) tende a zero. O valor típico desta altura é de 0.05 cm para casos com a presença de neve, cujo valor foi adotado neste estudo.

a.8) *HIN:Indoor HConv:Downward Flow* = coeficiente da combinação entre a convecção e a radiação de transferência de calor entre a superfície superior da laje e o ar do ambiente interno, para os casos em que o calor está fluindo para baixo. O valor típico recomendado pela *ASHRAE Handbook of Fundamentals* varia de 4 a 10 W/(m<sup>2</sup>.K). Para o fluxo descendente, segundo o *EnergyPlus*, pode-se adotar o valor de 6 W/(m<sup>2</sup>.K).

a.9) *HIN:Indoor HConv:Upward* = coeficiente combinado de convecção e de radiação de transferência de calor entre a superfície superior da laje e o ar do ambiente interno, para

os casos em que o calor está fluindo para cima. O valor típico recomendado pela *ASHRAE Handbook of Fundamentals* varia de 4 a 10 W/(m<sup>2</sup>.K). Para o fluxo ascendente, segundo o programa *EnergyPlus*, pode-se adotar o valor de 9 W/(m<sup>2</sup>.K), cujo valor foi adotado neste estudo.

c) *Ground Heat Transfer:Slab:Matlprops*

Segundo o programa *EnergyPlus*, um valor típico caracteriza o valor mais próximo do correto, para determinado objeto. Por outro lado, o valor *default* é o valor padrão, sendo o mais utilizado nas simulações (LABEEE, 2011b).

Neste objeto foram definidas algumas das principais propriedades termofísicas (densidade, calor específico e condutividade) do solo e da laje em contato com o solo. Foram adotados os valores *default* sugeridos pelo programa *EnergyPlus* para caracterizar o material do solo e da laje em contato com o solo, conforme Figura B.4.

**Figura B.4** - Classe - Ground Heat Transfer:Slab:Matlprops

| Field                      | Units  | Obj1 |
|----------------------------|--------|------|
| RHO: Slab Material density | kg/m3  | 2300 |
| RHO: Soil Density          | kg/m3  | 1200 |
| CP: Slab CP                | J/kg-K | 650  |
| CP: Soil CP                | J/kg-K | 1200 |
| TCON: Slab k               | W/m-K  | 0,9  |
| TCON: Soil k               | W/m-K  | 1    |

**Fonte:** Dados da pesquisa da autora

Descrição dos campos deste objeto:

- *RHO:Slab Material Density* = densidade do material utilizado na laje. O valor típico e o valor *default* recomendado pelo programa *EnergyPlus* é de 2300 (kg/m<sup>3</sup>).
- *RHO: Soil Density* = densidade do solo, cujo valor típico e valor *default* recomendado pelo programa *EnergyPlus* é de 1200 (kg/m<sup>3</sup>).
- *CP: Slab CP* = calor específico do material da laje, cujo valor típico e valor *default* recomendado pelo programa *EnergyPlus* é de 650 (J/kg.K).
- *CP: Soil CP* = calor específico do solo cujo valor típico e valor *default* recomendado pelo programa *EnergyPlus* é de 1200 (J/kg.K).
- *TCON: Slab k* = condutividade do material da laje, cujo valor típico e valor *default* recomendado pelo programa *EnergyPlus* é de 0.9 (W/m.K).

- *TCON: Soil k* = condutividade do solo, cujo valor típico e valor *default* recomendado pelo programa *EnergyPlus* é de 1 (W/m.K).

d) *Ground Heat Transfer:Slab:BoundConds*

Neste objeto foram inseridas algumas das principais propriedades termofísicas (densidade, calor específico e condutividade) do solo e da laje em contato com o solo, utilizadas no cálculo da transferência de calor pelo solo. Foram adotados os valores *default* sugeridos pelo programa *EnergyPlus* para caracterizar o material do solo e da laje em contato com o solo conforme Figura B.5.

**Figura B.5** - *Ground Heat Transfer:Slab:BoundConds*

| Field  | Units  | Obj1  |
|--|--------|-------|
| EVTR: Is surface evapotranspiration modeled            |        | FALSE |
| FIXBC: is the lower boundary at a fixed temperature    |        | FALSE |
| TDEEPin  | C      |       |
| USRHflag: Is the ground surface h specified by the use |        | FALSE |
| USERH: User specified ground surface heat transfer cc  | W/m2.K |       |

**Fonte:** Dados da pesquisa da autora

Descrição dos campos deste objeto:

- *EVTR: Is surface evapotranspiration modeled* = Neste objeto determina-se a utilização ou não do modelo de evapotranspiração na superfície do solo. A inclusão da evapotranspiração o cálculo tem maior efeito em climas quentes e secos, especialmente na temperatura superficial do solo.
- *FIXBC: Is the lower boundary at a fixed temperature* = permite usar uma temperatura fixa na superfície limite inferior (localizada no solo abaixo da laje) do modelo elaborado pelo pré-processador *Slab*, ao invés de uma condição de fluxo nulo de calor. Neste estudo não foi usado, considerando que o efeito desta mudança é muito pequeno sobre os resultados, segundo LABEEE (2011).
- *TDEEPin* = pode-se inserir a temperatura da camada inferior limite o modelo elaborado pelo pré-processador *Slab*, nos casos de seleção *TRUE* no item acima. Neste estudo foi selecionado

*FALSE*, portanto, a temperatura do solo na camada limite foi estimada automaticamente pelo pré-processador *Slab*.

- *USRHflag: Is the ground surface h specified by the user* = permite que o usuário especifique um coeficiente de transferência de calor para a superfície do solo, tendo sido adotado *FALSE*.
- *USERH: User specified ground surface heat transfer coeficiente* = usado se o item acima for *TRUE*, especificando o valor do coeficiente de transferência de calor da superfície do solo.

e) *Ground Heat Transfer:Slab:BldgProps*

Este objeto está relacionado com as informações da edificação e suas condições de operação, sendo adotados os valores conforme Figura B.6.

**Figura B.6** - Classe: *Ground Heat Transfer:Slab:BldgProps*

| Field   | Units  | Obj1 |
|---|--------|------|
| IYRS: Number of years to iterate                    |        | 10   |
| Shape: Slab shape                                   |        | 0    |
| HBLDG: Building height                              | m      | 3,7  |
| TIN1: January Indoor Average Temperature Setpoint   | C      | 22   |
| TIN2: February Indoor Average Temperature Setpoint  | C      | 22   |
| TIN3: March Indoor Average Temperature Setpoint     | C      | 22   |
| TIN4: April Indoor Average Temperature Setpoint     | C      | 22   |
| TIN5: May Indoor Average Temperature Setpoint       | C      | 22   |
| TIN6: June Indoor Average Temperature Setpoint      | C      | 22   |
| TIN7: July Indoor Average Temperature Setpoint      | C      | 22   |
| TIN8: August Indoor Average Temperature Setpoint    | C      | 22   |
| TIN9: September Indoor Average Temperature Setpoint | C      | 22   |
| TIN10: October Indoor Average Temperature Setpoint  | C      | 22   |
| TIN11: November Indoor Average Temperature Setpoint | C      | 22   |
| TIN12: December Indoor Average Temperature Setpoint | C      | 22   |
| TINamp: Daily Indoor sine wave variation amplitude  | deltaC | 0    |
| ConvTol: Convergence Tolerance                      |        | 0,1  |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

Descrição dos campos deste objeto:

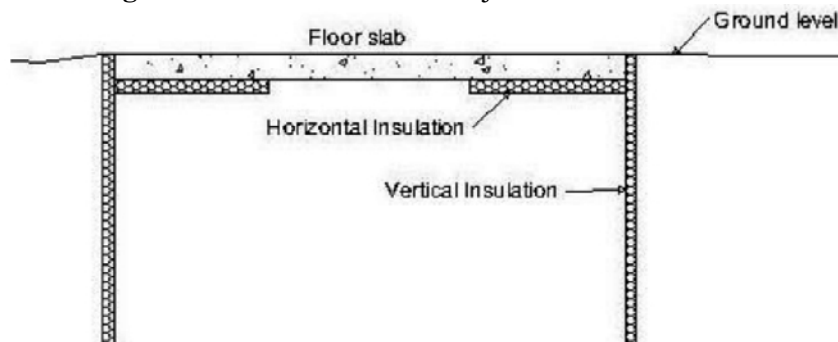
- *IYRS: Number of years to iterate* = número de anos que será utilizado para obter os resultados, através de processos iterativos. Quanto maior o número de anos, maior a precisão da simulação. Segundo o programa *EnergyPlus*, o valor de 10 anos como default é satisfatório.
- *Shape: Slab Shape* = formato da edificação, sendo que somente a forma retangular está implementada. Segundo o programa *EnergyPlus*, deve-se usar somente o valor 0 neste

objeto (LABEEE, 2011b).

- *HBLDG:Building height* = altura total da edificação, usada para calcular o sombreamento causado pela edificação no solo, igual a 3,70m na HIS estudada.
- *Tin:(January-December) Indoor Average Temperature Setpoint* = temperatura média mensal interna da edificação, que se refere a média ponderada das temperaturas mensais médias das suas respectivas zonas. A definição desta temperatura possui grande influência na temperatura do solo em contato com a edificação. Para obter esta temperatura média mensal, realizou-se uma simulação preliminar, na qual as temperaturas do solo (presentes no arquivo climático) foram inseridas no objeto *Site:GroundTemperature:BuildingSurface*. Nesta simulação preliminar, o programa *EnergyPlus* somente leva em consideração a influência das temperaturas do solo nas temperaturas internas da edificação.
- Antes de iniciar a simulação realizada com o pré-processador Slab, foram calculadas as temperaturas médias mensais (de Janeiro a Dezembro) de cada zona da edificação, de acordo com sua respectiva área. Na segunda simulação, foram inseridas as médias mensais da temperatura interna da edificação (obtidas através da primeira simulação) no objeto *Tin:(January-December) Indoor Average Temperature Setpoint*.
- *TINamp:Daily Indoor sine wave variation amplitude* = Este objeto permite impor uma variação sinusoidal (forma de onda cujo gráfico é idêntico ao da função seno) horária, com um período (comprimento da senoide no eixo x) de 24 horas.
- *ConvTol:Convergence Tolerance* = tolerância de convergência utilizada para controlar o processo iterativo utilizado para obter os resultados. Quando a mudança de temperatura de todos os nós for menor que o valor de convergência, a iteração cessa. O valor *default* recomendado pelo programa *EnergyPlus* é 0.1

f) *Ground Heat Transfer:Slab:Insulation*

Este objeto fornece as informações sobre o isolamento térmico utilizado na laje da edificação. Como ilustrado na Figura B.7, existem duas configurações possíveis no programa *EnergyPlus*: isolamento sob a laje e isolamento vertical.

**Figura B.7-** Isolamento sob a laje e isolamento vertical

Fonte: (LABEEE, 2011b).

Como não existe isolamento térmico na laje da HIS, o objeto desta classe não precisa ser determinado, conforme Figura B.8B.8.

**Figura B.8 -** Ground Heat Transfer:Slab:Insulation

| Field   | Units               | Obj1 |
|---|---------------------|------|
| RINS: R value of under slab insulation        | m <sup>2</sup> ·K/W | 0    |
| DINS: Width of strip of under slab insulation | m                   | 0    |
| RVINS: R value of vertical insulation         | m <sup>2</sup> ·K/W | 0    |
| ZVINS: Depth of vertical insulation           | m                   | 0    |
| IVINS: Flag: Is there vertical insulation     |                     | 0    |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

Descrição dos campos deste objeto:

- *RINS: R value of under slab insulation* = valor da resistência térmica do isolamento sob a laje. Caso a configuração de isolamento vertical estiver selecionada, este campo deve ser deixado em branco ou inserir o valor 0.
- *DINS: Width of strip of under slab insulation* = largura da faixa de isolamento sob o perímetro da laje, em metros. Caso a configuração de isolamento vertical estiver selecionada, este objeto deve ser deixado em branco ou inserir o valor.
- *RVINS: R value of vertical insulation* = resistência térmica do isolamento vertical. Deve ser deixado em branco ou inserir o valor 0, caso a configuração de isolamento sob a laje estiver selecionada.
- *ZVINS: Depth of vertical insulation* = profundidade do isolamento vertical no solo, em metros. O isolamento é considerado desde a superfície superior da laje até o contato com o solo. O programa *EnergyPlus* aceita somente os seguintes valores: 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0. Este objeto deve ser

deixado em branco ou inserir o valor 0 caso a configuração de isolamento sob a laje estiver selecionada.

- *IVINS:Flag:Is there vertical insulation* = define se será usado o isolamento térmico vertical. O valor 1 (um) indica quando da utilização isolamento vertical.

g) *Ground Heat Transfer:Slab:EquivalentSlab*

Através deste objeto, é possível modelar lajes equivalentes para casos de lajes com formas não retangulares. A relação área/perímetro é usada para determinar o tamanho de uma laje retangular equivalente.

**Figura B.9** - Classe:Ground Heat Transfer:Slab:EquivalentSlab

| Field   | Units | Obj1 |
|---|-------|------|
| <i>APRatio: The area to perimeter ratio for this slab</i> | m     | 1,5  |
| <i>SLABDEPTH: Thickness of slab on grade</i>              | m     | 0,1  |
| <i>CLEARANCE: Distance from edge of slab to domain ed</i> | m     | 15   |
| <i>ZCLEARANCE: Distance from bottom of slab to domain</i> | m     | 15   |

**Fonte:** Dados da pesquisa da autora

Descrição dos campos deste objeto, conforme Figura B.9:

- *APRatio: The area to perimeter ratio for this slab* = relação área/perímetro da laje, que no caso deste estudo é 1,5.
- *SLABDEPTH: Thickness of slab on grade* = espessura da laje, sendo que a superfície superior da laje está nivelada com a superfície do solo. A profundidade da laje tem um efeito significativo sobre o cálculo da temperatura e o valor *default* recomendado pelo programa *EnergyPlus* para este parâmetro é de 0.1, igual ao da HIS, tendo sido adotado neste estudo.
- *CLEARANCE: Distance from edge of slab to domain* = distância a partir da laje até o limite da área (paralela à laje). É a dimensão de tamanho básica que será usada para definir a extensão horizontal do domínio. O programa *EnergyPlus* considera como razoável o valor de 15 metros, tendo sido o mesmo adotado.
- *ZCLEARANCE: Distance from bottom of slab to domain bottom* = distância vertical entre a laje e a borda inferior da área que será modelada com o sistema de malhas de diferenças finitas. Segundo o programa *Energyplus*, 15 metros é um valor razoável, que foi adotado.

As demais classes de objetos da simulação preliminar foram preenchidas utilizando os mesmos dados do modelo de estudado da HIS (incluindo ocupação, ventilação, equipamentos, iluminação, orientação, materiais e clima).

Uma pré-simulação foi realizada utilizando-se o *EnergyPlus* após serem inseridas, conforme Figura B.10B.10, no arquivo de dados (.idf):

- na classe: *Site:GroundTemperature:BuildingSurface*: as temperaturas médias mensais do solo contidas no arquivo climático de Cuiabá;
- no objeto *Tin:(January-December) Indoor Average Temperature Setpoint*, da classe *Ground Heat Transfer:Slab:BldgProps*: os valores iguais a 22 graus (valor *default* sugerido pelo *Slab*).

**Figura B.10 - Pré-simulação: Temperatura do Solo**

Pré-simulação com *EnergyPlus*: Dados das Temperaturas do Solo inseridas

The figure shows two screenshots of the EnergyPlus software interface. The left screenshot displays the 'Class List' with 'Site:GroundTemperature:BuildingSurface' selected. Below it is a table of monthly ground temperatures. The right screenshot displays the 'Class List' with 'GroundHeatTransfer:Slab:BldgProps' selected. Below it is a table of indoor average temperature setpoints for each month.

| Field                        | Units | Obj1  |
|------------------------------|-------|-------|
| January Ground Temperature   | C     | 23.03 |
| February Ground Temperature  | C     | 29.22 |
| March Ground Temperature     | C     | 28.79 |
| April Ground Temperature     | C     | 28.16 |
| May Ground Temperature       | C     | 26.52 |
| June Ground Temperature      | C     | 25.28 |
| July Ground Temperature      | C     | 24.46 |
| August Ground Temperature    | C     | 24.23 |
| September Ground Temperature | C     | 24.71 |
| October Ground Temperature   | C     | 25.7  |
| November Ground Temperature  | C     | 27.01 |
| December Ground Temperature  | C     | 28.2  |

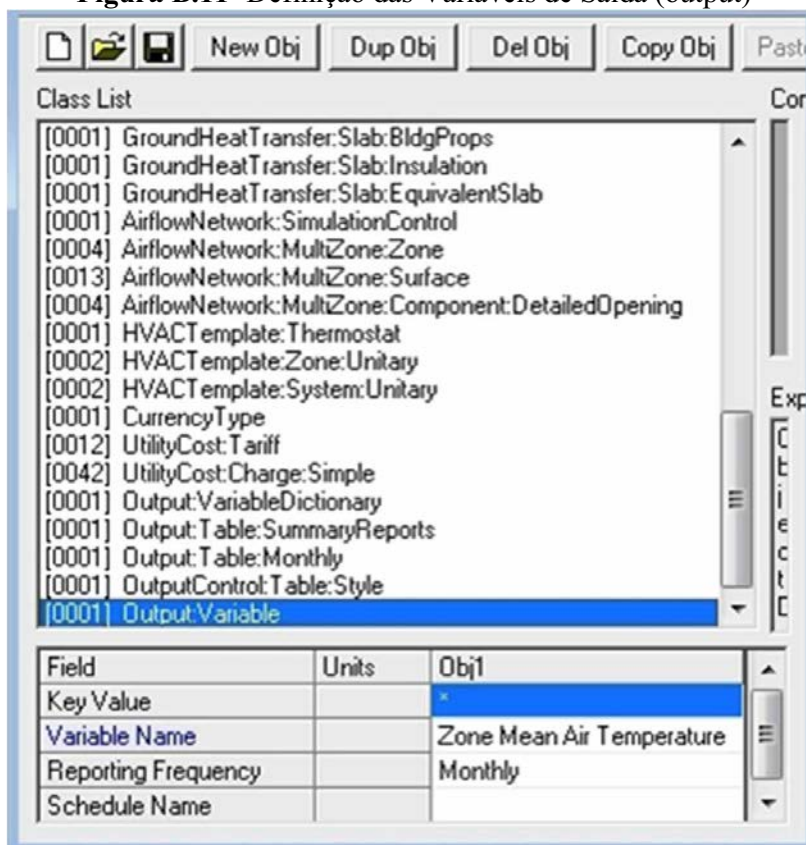
| Field   | Units  | Obj1 |
|---|--------|------|
| TYRS: Number of years to iterate                    |        | 10   |
| Shape: Slab shape                                   |        | 0    |
| HBLDG: Building height                              | m      | 3,7  |
| TIN1: January Indoor Average Temperature Setpoint   | C      | 22   |
| TIN2: February Indoor Average Temperature Setpoint  | C      | 22   |
| TIN3: March Indoor Average Temperature Setpoint     | C      | 22   |
| TIN4: April Indoor Average Temperature Setpoint     | C      | 22   |
| TIN5: May Indoor Average Temperature Setpoint       | C      | 22   |
| TIN6: June Indoor Average Temperature Setpoint      | C      | 22   |
| TIN7: July Indoor Average Temperature Setpoint      | C      | 22   |
| TIN8: August Indoor Average Temperature Setpoint    | C      | 22   |
| TIN9: September Indoor Average Temperature Setpoint | C      | 22   |
| TIN10: October Indoor Average Temperature Setpoint  | C      | 22   |
| TIN11: November Indoor Average Temperature Setpoint | C      | 22   |
| TIN12: December Indoor Average Temperature Setpoint | C      | 22   |
| TINamp: Daily Indoor sine wave variation amplitude  | deltaC | 0    |
| ConvTol: Convergence Tolerance                      |        | 0,1  |

Fonte: Dados da pesquisa da autora

Como dados de saída (*output*) da pré-simulação, foram solicitadas as Temperaturas médias mensais do ar de cada zona da HIS (Figura B.11) calculados pelo *EnergyPlus* e

disponíveis no Arquivo de Valores Separados por Vírgulas do Excel (extensão .csv). A partir destes valores, foram calculadas as temperaturas médias mensais internas do ar da HIS (de janeiro a dezembro), através da ponderação da temperatura média mensal interna de cada zona, pelas respectivas áreas.

**Figura B.11-** Definição das Variáveis de Saída (output)



Fonte: Dados da pesquisa da autora

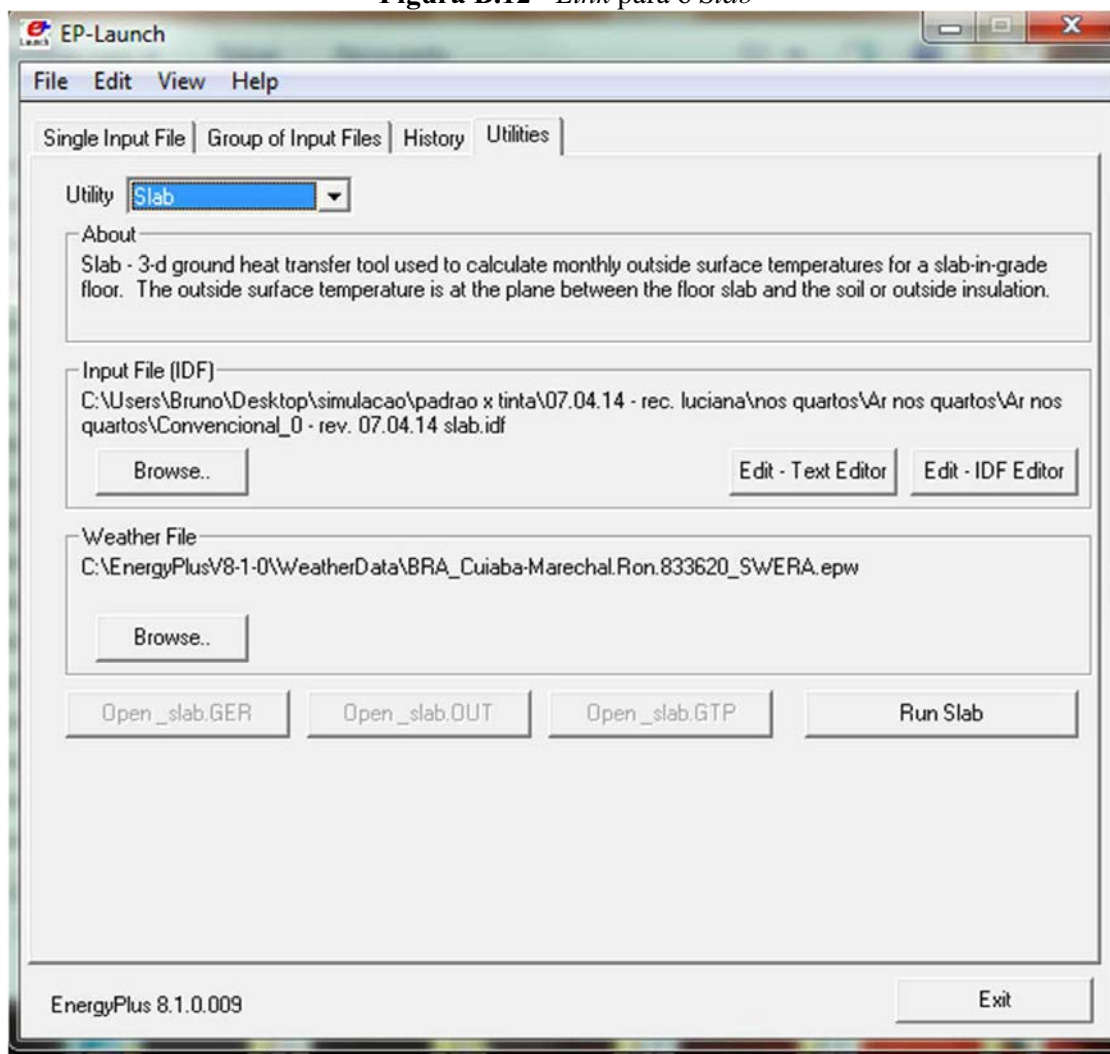
Dois simulações foram realizadas com o *Slab* para analisar a influência do solo na Edificação.

Antes da primeira simulação no *Slab*, foram inseridas, no arquivo de dados (.idf):

- na classe *Site:GroundTemperature:BuildingSurface*: as temperaturas médias mensais do solo contidas no arquivo climático de Cuiabá;
- no objeto *Tin:(January-December) Indoor Average Temperature Setpoint*: as temperaturas médias mensais internas do ar da HIS (de janeiro a dezembro), resultantes da pré-simulação.

O *Slab* foi acionado através do *link Utilities* disponível no *EnergyPlus*, conforme Figura B.12.

**Figura B.12 - Link para o Slab**



**Fonte:** Dados da pesquisa da autora

Destaca-se que nesta simulação as superfícies em contato com o solo estão relacionadas ao *GroundSlabPreprocessorAverage* através do objeto *BuildingSurfaceDetailed*.

Os seguintes dados resultantes da primeira simulação com o *Slab* foram utilizados como dados de entrada na segunda simulação:

- do arquivo gerado pelo *Slab* (extensão .ger): temperaturas médias mensais do solo (de janeiro a dezembro). Estes dados foram inseridos antes da segunda simulação na classe: *Site:GroundTemperature:BuildingSurface;*

- do arquivo gerado pelo *EnergyPlus* (extensão .csv): temperaturas médias mensais do ar de cada zona. Foram calculadas as médias das temperaturas mensais HIS (de janeiro a dezembro), ponderadas pelas respectivas áreas. Estes dados foram inseridos no objeto: *Tin:(January-December) Indoor Average Temperature Setpoint*, antes da segunda simulação.

Os dados de saída da segunda simulação, contidos no arquivo gerado pelo *Slab* (extensão .ger), foram iguais aos da primeira simulação possibilitando a confirmação da temperatura do solo resultante.