



**Eficiência Energética para Desenvolvimento Urbano Sustentável**

Produto elaborado para:

**Secretaria Nacional de Habitação/ Ministério do Desenvolvimento Regional**

**Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável**

***Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH***

# Análise de custo/benefício de parâmetros de eficiência energética em Habitações de Interesse Social

**Produto 2 - Tarefa II – Definição de 3 Unidades Bases Habitacionais, e Tarefa III – Linhas de Bases Simuladas de Desempenho Térmico**

Elaborado por:

lab**EEE**

Roberto Lamberts

Ana Paula Melo

Maria Andrea Triana

Marcelo Salles Olinger

Tiago de Castro Quevedo

## PRODUTO 2

Produto Elaborado para:

**Secretaria Nacional de Habitação/ Ministério do Desenvolvimento Regional**

**Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável**

***Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH***

**Elaborado por: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações**

**Autores:** Roberto Lamberts  
Ana Paula Melo  
Maria Andrea Triana  
Marcelo Salles Olinger  
Tiago de Castro Quevedo

Esse documento foi elaborado no âmbito do projeto Eficiência Energética para o Desenvolvimento Urbano Sustentável (EEDUS), resultado de uma articulação bilateral entre os governos do Brasil e da Alemanha. O projeto EEDUS envolve diretamente a *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH*, agência executora da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável e os nomes dos parceiros governamentais brasileiros, bem como outros parceiros institucionais.

**Coordenação:** Daniel Wagner (GIZ),  
Philipp Höppner (GIZ).

Junho 2020

### Informações Legais

1. Todas as indicações, dados e resultados deste estudo foram compilados e cuidadosamente revisados pelo(s) autor(es). No entanto, erros com relação ao conteúdo não podem ser evitados. Consequentemente, nem a GIZ ou o(s) autor(es) podem ser responsabilizados por qualquer reivindicação, perda ou prejuízo direto ou indireto resultante do uso ou confiança depositada sobre as informações contidas neste estudo, ou direta ou indiretamente resultante dos erros, imprecisões ou omissões de informações neste estudo.

2. A duplicação ou reprodução de todo ou partes do estudo (incluindo a transferência de dados para sistemas de armazenamento de mídia) e distribuição para fins não comerciais é permitida, desde que a GIZ seja citada como fonte da informação. Para outros usos comerciais, incluindo duplicação, reprodução ou distribuição de todo ou partes deste estudo, é necessário o consentimento escrito da GIZ.

**SUMÁRIO**

<b>2</b>	<b>TAREFA II – DEFINIÇÃO DE TRÊS UNIDADES BASES HABITACIONAIS .....</b>	<b>6</b>
2.1	DEFINIÇÃO DE TRÊS UNIDADES BASES.....	6
2.2.1	Características das três unidades bases.....	8
<b>3.</b>	<b>TAREFA III – LINHAS DE BASES SIMULADAS DE DESEMPENHO TÉRMICO ....</b>	<b>14</b>
3.1	DEFINIÇÃO DE BASES SIMULADAS.....	14
3.1.1	Configuração das simulações .....	14
3.2	RESUMO DOS DADOS DE ENTRADA.....	21
<b>4.</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>23</b>

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 2.1 Tipologia unifamiliar térrea. ....	9
Figura 2.2 Modelo 3D – Tipologia casa unifamiliar térrea.....	10
Figura 2.3 Tipologia casa geminada. ....	11
Figura 2.4 Modelo 3D - Tipologia casa geminada .....	11
Figura 2.5 Tipologia com planta “H”. ....	12
Figura 2.6 Modelo 3D - Tipologia com planta “H”. ....	13
Figura 3.1 Rede de fluxo de ar.....	19
Figura 3.2 Condições para abertura das janelas na modelagem da ventilação natural. ...	20

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Área útil dos ambientes tipologia unifamiliar térrea.....	9
Tabela 2.2 Área útil dos ambientes tipologia casa geminada.....	10
Tabela 2.3 Área útil dos ambientes – Tipologia edifício multifamiliar com em planta “H” ..	12
Tabela 2.4 Comparação das características geométricas do modelo base.....	13
Tabela 3.1 Comparação das características construtivas do modelo base.....	15
Tabela 3.2 Padrões de ocupação diários dos APPs.....	16
Tabela 3.3 Taxas metabólicas e fração radiante para os usuários.....	17
Tabela 3.4 Padrões de uso do sistema de iluminação artificial dos APPs.....	17
Tabela 3.5 Densidade de potência instalada, fração radiante e fração visível para o sistema de iluminação.....	18
Tabela 3.6 Período de uso, densidade de cargas internas e fração radiante para equipamentos dos APPs.....	18
Tabela 3.7 Contato com o solo.....	19
Tabela 3.8 Descrição dos parâmetros da ventilação natural para portas e janelas em ambientes de permanência prolongada (APPs) e ambientes de permanência transitória (APTs).....	20
Tabela 3.9 – Propriedades térmicas dos materiais das paredes e do piso térreo.....	22
Tabela 3.10 – Propriedades térmicas dos materiais da cobertura e da câmara de ar.....	22
Tabela 3.11 – Propriedades térmicas do material de isolamento da cobertura - zona bioclimática 8.....	22
Tabela 3.12 – Características dos elementos transparentes.....	22

## 1. INTRODUÇÃO

Este documento apresenta a entrega da Produto II referente ao projeto “Análise de custo/benefício de parâmetros de eficiência energética em HIS”. O Produto II contempla o desenvolvimento da Tarefa II – Definição de 3 unidades-base habitacionais; e da Tarefa III - Definição de linhas de base simuladas de desempenho térmico e energético.

Ao total, serão realizadas as entregas de cinco produtos:

Produto I – Plano de trabalho: Preparação, estruturação e revisão literária (Tarefa I);

Produto II – Definição de 3 unidades-base habitacionais (Tarefa II), e Definição de linhas de base simuladas de desempenho térmico e energético (Tarefa III);

Produto III - Aplicação de parâmetros relevantes a EE nas 3 “unidades-base” (Tarefa IV), e Estudo paramétrico de desempenho térmico e energético (Tarefa V);

Produto IV - Estudo de custo de implementação de melhorias (Tarefa VI);

Produto V - Análise de custo/benefício de parâmetros de EE em HIS (Tarefa VII).

## 2 TAREFA II – DEFINIÇÃO DE TRÊS UNIDADES BASES HABITACIONAIS

### 2.1 DEFINIÇÃO DE TRÊS UNIDADES BASES

A definição de projetos representativos é importante para a avaliação de medidas de eficiência energética, de forma a extrapolar resultados para o setor de edificações. De acordo com Dascalaki *et al.* (2011) é possível a utilização de edificações reais ou projetos representativos para avaliar cenários com medidas de conservação de energia para o estoque edificado e, conforme a pesquisa de Attia, Evrard e Gratia (2012), modelos representativos do setor residencial podem ser desenvolvidos com base em pesquisas de relevância nacional.

Para a Agência Internacional de Energia, modelos desenvolvidos por meio da abordagem *bottom up* ou *top down* podem ser adotados para avaliar aspectos relacionados ao uso da energia nos edifícios (IEA, 1998). Conforme Kavgic *et al.* (2010) a abordagem *top down* é mais usada para avaliações entre os setores de energia e economia, enquanto que o modelo *bottom up* adota dados físicos com maior detalhe, que podem ser facilmente medidos, ajudando na avaliação de estratégias de consumo de energia nas edificações relacionadas com políticas públicas. Contudo, o autor ressalta como limitações neste tipo de abordagem a falta de maior relação entre o uso da energia e o setor econômico em nível macro, o fato da necessidade de maiores informações técnicas e as suposições que devem ser consideradas para a avaliação do comportamento humano.

O Relatório “Metodologia para Elaboração do “Mapa de Tipologias e Sistemas Construtivos do PMCMV, Faixa 1” elaborado dentro do Projeto EEDUS - Eficiência Energética para Desenvolvimento Urbano Sustentável no convênio entre a Secretaria Nacional de Habitação - SNH e a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH - GIZ (SNH, GIZ, MITSIDI, 2019) teve como objetivo o levantamento de informações relacionadas ao estoque das edificações construídas no âmbito do Programa Minha Casa Minha Vida - PMCMV.

Entre os resultados deste relatório, encontra-se o levantamento de tipologias de edificações construídas na Faixa 1 do PMCMV a partir da base de dados da SNH, assim como o levantamento de dados decorrentes de revisão de literatura relacionados às tipologias do PMCMV. O objeto de estudo foram edificações das modalidades FAR (Empresas) e FDS (Entidades) da Faixa 1. Os autores analisaram a base de dados da SNH onde constam

diferentes dados de tipologias, porém não dados mais específicos, como: materiais utilizados, tipos de esquadrias, de paredes e cobertura, dados que são considerados relevantes para uma caracterização de tipologia representativa. Estes dados serão levantados em literatura existente de acordo com o Produto I.

O levantamento também mostrou a quantidade de unidades habitacionais que foram construídas ao longo dos anos do PMCMV desde o seu início em 2009, destacando-se na Faixa 1 unidades da modalidade FAR, assim como os anos de 2009 a 2014 com o maior número de unidades construídas. Esses anos correspondem às fases 1 e 2 do PMCMV. O Programa MCMV encontra-se na Fase 3. As fases do PMCMV referem-se à forma de contratação e execução dos empreendimentos, sendo também relacionadas com as diretrizes para os projetos. Nas fases 1 e 2 do PMCMV foram definidas 3 faixas de renda para contratação dos projetos, sendo a Faixa 1 aplicada para famílias com menor renda, onde é localizado o maior déficit habitacional. Na fase 3 do programa foi estabelecida a Faixa 1,5. Também, os limites de renda para a Faixa 1 foram alterados ao longo das fases do Programa MCMV, e na fase atual encontra-se em R\$1.800,00 de renda bruta familiar.

O Relatório da SNH conforme SHN, GIZ e MITSIDI (2019) apresenta um levantamento em relação às tipologias dos empreendimentos do PMCMV, dividindo as tipologias em apartamentos, casa, casa sobreposta e mista. A tipologia mista representa uma junção de várias tipologias. Após análise da base de dados da SNH, os autores observaram que a maior parcela de unidades construídas dentro do PMCMV refere-se às tipologias do tipo casas e apartamentos, com variação na porcentagem entre os diferentes estados do Brasil. No Sul e Sudeste, a maioria das unidades são da tipologia apartamentos, enquanto nas outras regiões a predominância é pela tipologia de casas. Conforme os autores, a tipologia de casa sobreposta, também presente no relatório da SNH, apresenta destaque somente na região Nordeste. Contudo, os resultados do relatório da SNH não apresentam as diferenças entre casa unifamiliar e geminada, considerando-se estas duas tipologias dentro da tipologia “casa”.

No Brasil, conforme levantamento realizado por SHN, GIZ e MITSIDI (2019) algumas pesquisas vêm sendo desenvolvidas em estudos de caso de habitações de interesse social, com ênfase no desempenho termo energético. E com relação à projetos representativos, a pesquisa de da Rosa (2019) propôs um método para obtenção de modelos de referência aplicando análise de agrupamentos a partir de configurações de clusterização para estudos de desempenho térmico das edificações. O método foi aplicado em cluster de edificações de residências unifamiliares de interesse social, localizadas em Florianópolis, desenvolvendo dois modelos de habitações representativas, sendo uma de 37 m<sup>2</sup> e outra de 64 m<sup>2</sup>.

A pesquisa desenvolvida por Triana Montes (2016) teve como uma das etapas o desenvolvimento de projetos representativos do Programa Minha Casa Minha Vida considerando as três faixas de renda do Programa. Foram analisados 108 projetos do PMCMV em profundidade, de companhias de habitação e construtoras atuantes no PMCMV em todas as regiões do Brasil, dividindo as amostras em dois grupos por nível de renda. O nível de renda denominado como “1” apresentava análises de projetos da Faixa 1 do PMCMV. O nível de renda identificado como “2” analisou projetos das faixas 2 e 3 do PMCMV. Para a faixa 1, as informações com relação ao projeto foram de duas amostras. A primeira amostra abordou a identificação visual das tipologias dos projetos com maior quantidade de unidades construídas em 2013 (a partir de 1.000 unidades) e até abril de 2014 (a partir de 300 unidades); e a segunda amostra abordou projetos adotados pelas companhias de habitação e agentes públicos em diversos locais do país. A primeira amostra levantou 91 empreendimentos, onde foi possível a identificação de tipologias em 47 empreendimentos. A segunda amostra levantou 29 projetos de diversas regiões do país, analisados em detalhe, sendo 16 projetos de Companhias de Habitação e Agentes Públicos (correspondendo a 30% das companhias atuantes no país na data da pesquisa) e os restantes de construtoras atuantes no setor e prefeituras. As características predominantes nos projetos representativos foram estimadas com relação à média e desvio padrão para dados que permitiam imprecisões, moda para elementos como janelas e portas, além dos memoriais construtivos. Quando necessário os dados foram normalizados e foi atendido à

NBR 9050 conforme exigência do PMCMV para a tipologia unifamiliar. A pesquisa identificou para a faixa 1 do PMCMV três tipologias representativas: casa unifamiliar térrea, casa geminada e edifício em planta “H” com 4 ou 5 pavimentos. A tipologia casa unifamiliar foi a que teve maior frequência de ocorrência nas amostras analisadas, seguida pelo edifício com planta em formato “H”. A tipologia de casa geminada e casa sobreposta tiveram frequência de ocorrência similar, a tipologia de casa geminada foi considerada mais expressiva por estar presente em mais regiões do país do que a tipologia de casa sobreposta e por ter um número significativo de empreendimentos dentro das amostras. O estudo levantou as características de cada tipologia, como quantidade de ambientes com suas respectivas áreas, pé direito, área de janelas, composição construtiva, entre outros dados. As características das tipologias são apresentadas no item 2.2.1. Características das três unidades bases. Os resultados desse estudo encontram-se também em Triana, Lamberts e Sassi (2015).

Nesta pesquisa serão adotados três projetos representativos, (1) casa unifamiliar térrea, (2) casa geminada, e (3) edifício de planta “H” com quatro pavimentos. Estes projetos foram definidos na pesquisa de Triana Montes (2016) para a faixa 1 do PMCMV, a fim de estudar as principais tipologias construídas no Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) nessa mesma faixa de renda.

### 2.2.1 Características das três unidades bases

As três tipologias habitacionais para a faixa 1 do PMCMV, elaboradas por Triana (2016), e adotadas como base para elaboração deste estudo foram desenvolvidas durante a segunda fase do Programa Minha Casa Minha Vida. Porém, destaca-se que, atualmente, o PMCMV está em sua terceira fase e as diretrizes para elaboração de projetos devem estar de acordo com a **Portaria N° 660, de 14 de novembro de 2018**.

Conforme apresentado no Produto I, o Anexo II da **Portaria N° 660** apresenta as diretrizes mínimas das unidades habitacionais, destacando o número de quartos, as áreas mínimas das unidades habitacionais, materiais, entre outros. Além disso, a **Portaria N° 660** passou a exigir o atendimento à NBR 15.575 – *Desempenho de edificações habitacionais*. Portanto, uma atualização das tipologias desenvolvidas por Triana Montes (2016) se faz necessária em vista das novas exigências da terceira fase do PMCMV. Dessa forma, os projetos representativos apresentados na pesquisa foram revisados, levando em consideração o disposto na **Portaria N° 660**, para que os modelos fiquem de acordo com a fase atual do Programa e atendam aos requisitos de desempenho térmico apresentados na NBR 15.575.

#### 2.2.1.1 Casa unifamiliar térrea

O modelo representativo para a tipologia unifamiliar térrea levantado por Triana Montes (2016) apresenta as seguintes características: cozinha, sala de estar, dois dormitórios, um banheiro e área de serviço externa. A tipologia representativa tem área útil de 39,75 m<sup>2</sup> e pé direito de 2,50 metros.

De acordo com o Anexo II da **Portaria N° 660 de 14 de novembro de 2018**, os projetos de casas unifamiliares térreas devem possuir no mínimo: uma sala, cozinha, um dormitório casal, um dormitório solteiro, um banheiro e área de serviço. As áreas dos ambientes são em relação às dimensões do mobiliário e circulação dentro dos ambientes, o que já estava como diretriz na fase 2 do PMCMV. A área útil das unidades deve ser no mínimo de 38 m<sup>2</sup> e o pé direito de 2,50 metros.

O modelo representativo da casa unifamiliar térrea apresentado pela autora está de acordo com as portarias mais recentes em relação à área útil da habitação, ao número e tamanho de cômodos e às exigências de pé direito. Assim, o modelo de casa unifamiliar térrea

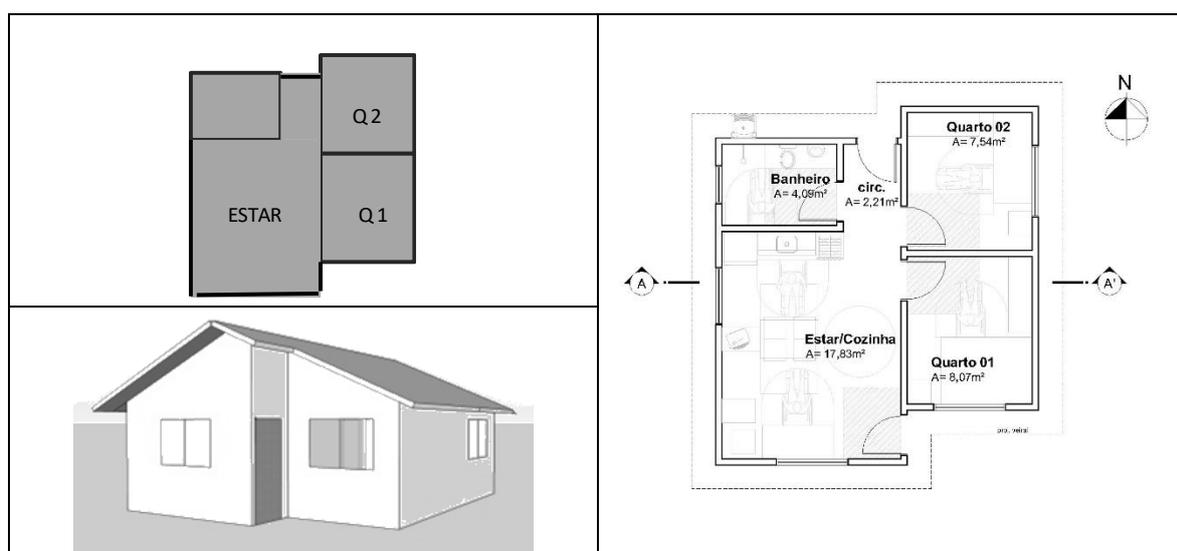
adotado como unidade base de simulação neste relatório possui as mesmas características geométricas do projeto representativo adotado por Triana Montes (2016). A Tabela 2.1 apresenta as áreas úteis de cada ambiente do modelo base.

Tabela 2.1 Área útil dos ambientes tipologia unifamiliar térrea.

	AMBIENTES					
	Sala / cozinha	Dormitório 1	Dormitório 2	Banheiro	Circulação	Total
Área Útil (m <sup>2</sup> )	17,83	8,07	7,54	4,09	2,21	39,75

A Figura 2.1 apresenta o modelo representativo de casa unifamiliar térrea, com a distribuição dos cômodos na residência e a volumetria.

Figura 2.1 Tipologia unifamiliar térrea.



Fonte: Triana Montes (2016)

Apesar de apresentar a quantidade de cômodos suficientes e área útil de acordo com as Portarias mais recentes do PMCMV, o modelo da Figura 2.1 possui características que não condizem com a fase 3 do Programa, pois o mesmo tinha o intuito de mostrar as características mais representativas dos projetos da amostra levantada. O sombreamento e a área mínima das janelas foram revisados para a elaboração do modelo base para a simulação, a fim de se adequar à fase 3 do PMCMV. É importante ressaltar que a nova proposta do método de simulação da NBR 15575 considera um caso de referência para a análise. Destaca-se que nos casos de referência da NBR 15.575 não é levado em consideração o sombreamento, seja da própria edificação, ou do entorno. Desta forma, os sombreamentos como sacadas, beirais, venezianas e do entorno serão abordados nas análises de eficiência energética da Tarefa IV, sendo considerados como medidas de eficiência energética para a edificação.

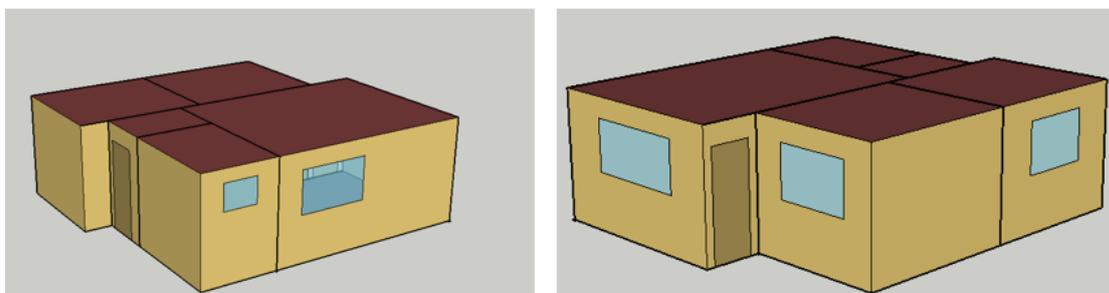
Quanto às áreas de janelas, a **Portaria N° 660** passou a exigir que seja respeitado o mínimo proposto pela NBR 15.575. A norma regulamentadora na sua nova versão proposta, determina que cada ambiente tenha 17% de percentual de elementos transparentes ( $P_{tAPP}$ ).

Esse valor corresponde a um ambiente com 7,65% de percentual de abertura para ventilação, considerando fator de ventilação de 45%. Portanto, com base na referência da nova proposta da NBR 15.575 adotou-se para os modelos área de janelas igual a 17% da área de piso.

Para os sombreamentos o modelo de referência da NBR 15.575 não considera a presença de sombreamentos. Assim, para o modelo de base deste relatório os beirais foram removidos. A Figura 2.2 representa o modelo 3D de simulação da tipologia casa unifamiliar térrea.

As demais características do modelo, referentes aos materiais adotados, padrões de uso, iluminação, entre outros, serão abordados na Tarefa III presente neste relatório.

Figura 2.2 Modelo 3D – Tipologia casa unifamiliar térrea.



### 2.2.1.2 Casa geminada

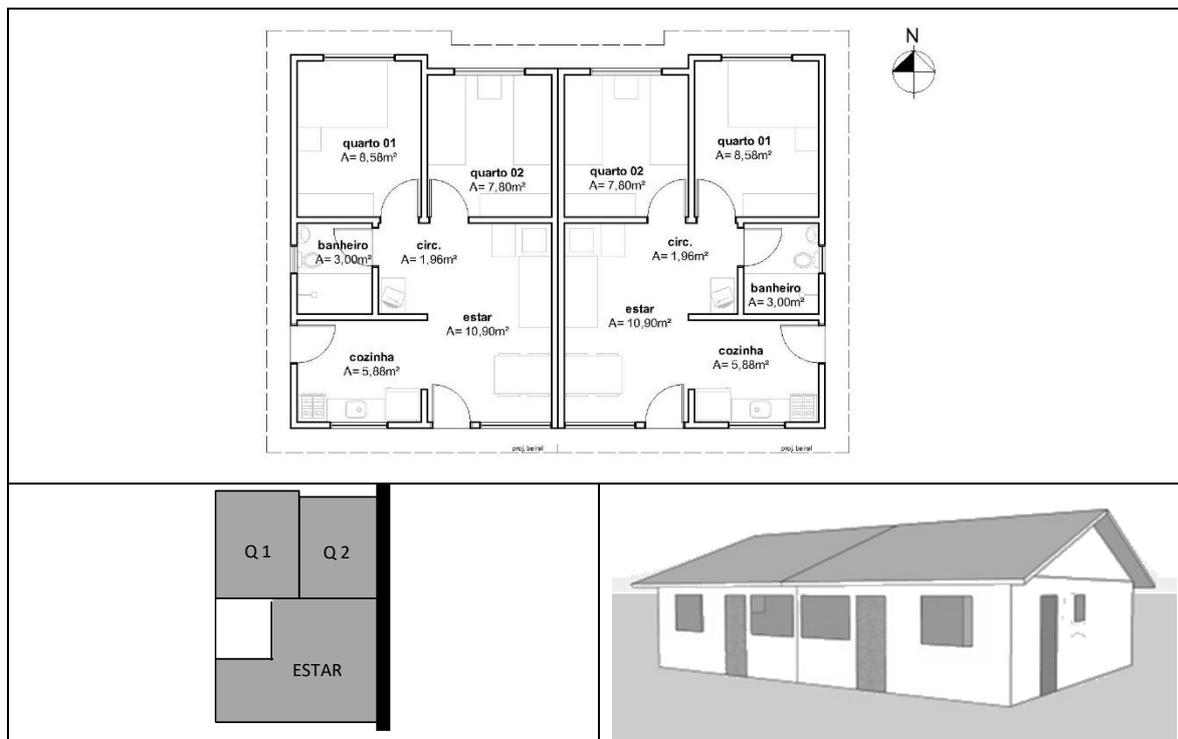
Assim como o modelo unifamiliar térreo, a tipologia geminada apresenta em sua composição: sala, cozinha, um dormitório casal, um dormitório solteiro, banheiro e área de serviço externa, com área total de 38,12 m<sup>2</sup> e pé direito de 2,50 metros (TRIANA, LAMBERTS e SASSI, 2015). Essas características estão de acordo com as Portarias que regulamentam a terceira fase do PMCMV. Portanto, o modelo de base simulada da casa geminada utilizou os mesmos valores levantados pelos autores. A Tabela 2.2 apresenta as áreas úteis de cada ambiente.

Tabela 2.2 Área útil dos ambientes tipologia casa geminada.

	AMBIENTES					
	Sala / cozinha	Dormitório 1	Dormitório 2	Banheiro	Circulação	Total
Área Útil (m <sup>2</sup> )	16,77	8,58	7,80	3,00	1,96	38,12

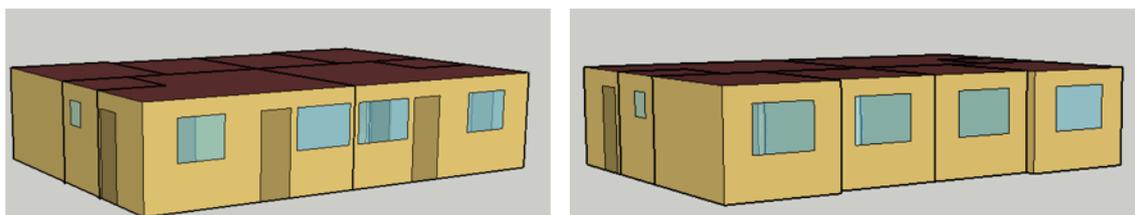
Para o modelo de base simulada, a disposição dos ambientes é equivalente ao levantado por Triana Montes (2016). A Figura 2.3 representa a tipologia da casa geminada, apresentada na pesquisa, e a Figura 2.4 mostra o modelo 3D adotado para simulação da tipologia casa geminada. As demais características do modelo, referentes aos materiais adotados, padrões de uso, iluminação, entre outros, serão abordados na Tarefa III presente neste relatório.

Figura 2.3 Tipologia casa geminada.



Fonte: Triana Montes (2016)

Figura 2.4 Modelo 3D - Tipologia casa geminada



Assim como para o modelo casa unifamiliar térrea, foi preciso revisar o sombreamento e as áreas de aberturas, para que estivessem de acordo com o modelo de referência da NBR 15.575.

Como observado na Figura 2.3, o modelo representativo de Triana Montes (2016) apresentava sombreamento com beiral de 50 cm. O modelo de referência da NBR 15.575 não apresenta sombreamento e, portanto, o beiral foi removido para o modelo base (Figura 2.4). Além disso, a área de todas as janelas passou a representar 17% da área de piso do ambiente, respeitando a referência da NBR 15.575.

### 2.2.1.3 Edifício com planta “H”

Dentre os edifícios representativos da faixa 1 adotados por Triana Montes (2016), destaca-se uma edificação multifamiliar com planta em formato H de 4 ou 5 pavimentos (Figura 2.5). Nesta tipologia todos os apartamentos são considerados tipo, têm a mesma configuração de planta mudando somente a orientação. Similar aos modelos unifamiliares, cada apartamento apresenta: uma sala, cozinha com área de serviço, dois dormitórios e banheiro. As áreas de cada ambiente, bem como a área total da unidade habitacional típica são apresentadas na Tabela 2.3.

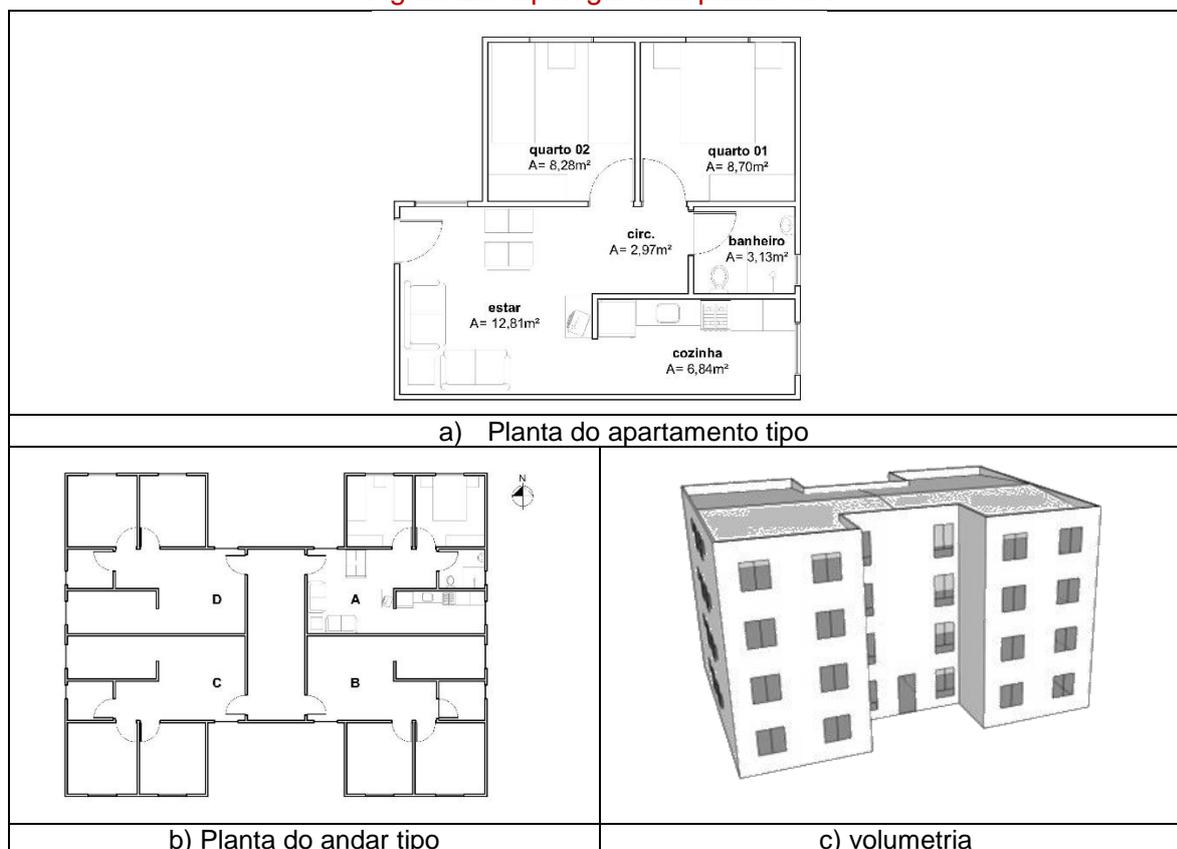
Tabela 2.3 Área útil dos ambientes – Tipologia edifício multifamiliar com em planta “H”

	AMBIENTES						
	Sala	Cozinha	Dormitório 1	Dormitório 2	Banheiro	Circulação	Total
Área Útil (m <sup>2</sup> )	12,81	6,84	8,70	8,28	3,13	2,97	43,07

A área útil total da unidade habitacional tipo é de 43,07 m<sup>2</sup>. Esse valor atende o mínimo exigido no **Anexo II da Portaria N° 660**. Desta forma, o modelo base deste relatório adotou os mesmos valores da tipologia representativa de Triana Montes (2016).

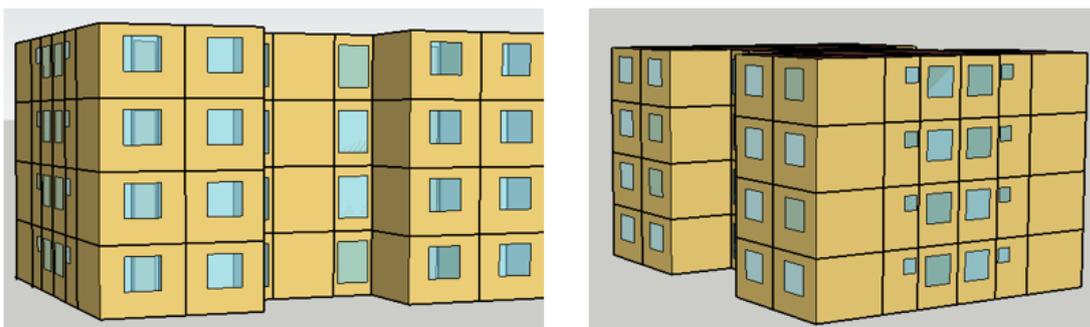
A tipologia multifamiliar com planta “H” adotada é constituída de 4 pavimentos tipo, com 4 unidades habitacionais em cada andar. As unidades são idênticas entre si, apresentando a mesma disposição dos ambientes e áreas úteis. A Figura 2.6 apresenta o modelo 3D da tipologia. O modelo também precisou ser revisado para que estivesse de acordo com as novas portarias e atendesse à NBR 15.575. A janela da sala precisou ser corrigida, para que atendesse os 17% de área do piso da referência da NBR 15.575.

Figura 2.5 Tipologia com planta “H”.



Fonte: Triana Montes (2016)

Figura 2.6 Modelo 3D - Tipologia com planta "H".



O modelo base também não considerou a possibilidade de sombreamentos, para manter-se fiel à referência da NBR 15.575. Um resumo das diferenças entre as tipologias adotadas por Triana Montes (2016) e os casos bases das três tipologias adotadas neste relatório podem ser observadas na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 Comparação das características geométricas do modelo base.

Modelo	ÁREA ÚTIL (m <sup>2</sup> )		PÉ DIREITO (m)		BEIRAL		Percentual de abertura em relação ao piso (PAFT) (%)	
	Triana (2016)	Caso Base	Triana (2016)	Caso Base	Triana (2016)	Caso Base	Triana (2016)	Caso Base
<b>Unifamiliar</b>	39,75	39,75	2,5	2,5	Sim	Não	17	17
<b>Geminada</b>	38,12	38,12	2,5	2,5	Sim	Não	17	17
<b>Multifamiliar em formato H</b>	43,07	43,07	2,5	2,5	Não	Não	15	17

Fonte: Triana Montes (2016) e NBR 15.575

Como destacado anteriormente, as mudanças mais significativas estão relacionadas com o sombreamento (beiral) e o percentual de abertura de janelas em relação ao piso. A diferença entre as transmitâncias das paredes e coberturas também é evidente e será abordada na Tarefa III, assim como os padrões de ocupação, uso de equipamentos, sistemas de ar condicionado, iluminação, entre outros.

### 3. TAREFA III – LINHAS DE BASES SIMULADAS DE DESEMPENHO TÉRMICO

#### 3.1 DEFINIÇÃO DE BASES SIMULADAS

Conforme mencionado anteriormente, a 3ª fase do PMCMV considera o atendimento à NBR 15575 para o desenvolvimento de projetos. Dessa forma, as bases simuladas para desempenho térmico e energético das 3 unidades base foram elaboradas segundo a nova proposta da ABNT NBR 15575. Foi modelado um caso base para cada tipologia, que serão utilizados nas análises nos diferentes climas representativos de cada zona bioclimática brasileira.

##### 3.1.1 Configuração das simulações

A configuração da simulação consiste em modelar a tipologia e inserir os dados de entrada exigidos pelo programa de simulação. Dentre os dados de entrada estão as características da envoltória da edificação, carga térmica interna, configuração de contato com o solo, ventilação natural, sistemas de ar condicionado, entre outros. Abaixo serão explicados cada *input* necessário para a correta configuração das unidades base simuladas.

Os modelos de simulação foram elaborados utilizando o *software EnergyPlus* na versão 9.0.1. O programa atende os requisitos da NBR 15.575 como ferramenta de simulação, por ser validado pela *ASHRAE Standard 140*, e permitir simulações durante as 8.760 horas do ano. Destaca-se que as três unidades base adotadas na Tarefa II foram modeladas utilizando o *Sketchup Make*, com o plugin *Euclid*.

Assim como na Tarefa II, para a determinação dos padrões de uso e dos materiais das três unidades bases simuladas foi considerado o estudo de Triana Montes (2016) e as características dos projetos representativos foram comparadas com o **Anexo II da Portaria N° 660** e com a NBR 15.575 e, quando necessário, foram realizadas alterações.

Na pesquisa da autora foram levantados os materiais utilizados para cada tipologia representativa. Observou-se que os padrões construtivos para as edificações unifamiliares são diferentes dos padrões construtivos das edificações multifamiliares, principalmente em relação às paredes de vedação e ao sistema de coberturas. Seus modelos representativos das edificações unifamiliares tanto térreas quanto geminadas, apresentavam paredes de alvenaria de 13 cm, compostas por tijolos cerâmicos de 6 furos com reboco interno e externo. Esse sistema conferia à edificação paredes de vedação com transmitância térmica de 2,43 W/m<sup>2</sup>K. Já as coberturas eram compostas de telha cerâmica, câmara de ar e forro de PVC com transmitância térmica de 1,75 W/m<sup>2</sup>K. Por outro lado, o seu modelo multifamiliar do edifício em planta “H” apresentava paredes de vedações de 10 cm em concreto, com transmitância térmica de 4.4 W/m<sup>2</sup>K. Já o sistema de cobertura dessa tipologia tinha em sua composição telhas de fibrocimento e laje de concreto com transmitância térmica de 2,06 W/m<sup>2</sup>K.

Contudo, conforme a exigência atual do PMCMV quanto aos materiais, as bases simuladas presentes neste relatório foram desenvolvidas considerando os mesmos materiais dos casos de referência proposto pela nova proposta da NBR 15.575. Assim, foi necessário adaptar os modelos propostos por Triana Montes (2016) com relação aos materiais da envoltória. A Tabela 3.1 traz uma comparação entre os modelos propostos pela autora e o caso base estabelecido para este relatório, com base na NBR 15575.

Tabela 3.1 Comparação das características construtivas do modelo base.

MODELO	PAREDES		COBERTURAS		VIDROS		ABSORTÂNCIA	
	Triana (2016)	Caso Base	Triana (2016)	Caso Base	Triana (2016)	Caso Base	Triana (2016)	Caso Base
<b>Unifamiliar</b>	13 cm Tijolo 6 furos + reboco interno e externo U = 2,43 W/m <sup>2</sup> K	Concreto 10 cm U = 4,4 W/m <sup>2</sup> K	Telha Cerâmica + Câmara de ar + forro PVC U = 1,75 W/m <sup>2</sup> K	Telha fibrocimento + câmara de ar + forro de laje em concreto em 10 cm U = 2,06 W/m <sup>2</sup> K	4 mm fator solar 0.87	3 mm fator solar 0.87	0.6	0.6
<b>Geminada</b>	13 cm Tijolo 6 furos + reboco interno e externo U = 2,43 W/m <sup>2</sup> K		Telha Cerâmica + câmara de ar + forro PVC U = 1,75 W/m <sup>2</sup> K	Telha fibrocimento + câmara de ar + forro de laje em concreto em 10 cm U = 2,06 W/m <sup>2</sup> K				
<b>Multifamiliar em formato H</b>	Concreto 10 cm U = 4,4 W/m <sup>2</sup> K		Fibroci-mento + câmara de ar + Laje concreto 10 cm U = 2,06 W/m <sup>2</sup> K	Telha de fibrocimento + câmara de ar + forro de laje em concreto em 10 cm U = 2,06 W/m <sup>2</sup> K				

Fonte: Triana Montes (2016) e caso de referência NBR 15.575

Observa-se que as mudanças significativas estão relacionadas ao sistema de vedação vertical, quanto ao tipo de telha adotado nos casos unifamiliar e geminada, e também à espessura de vidro adotado. Porém, além das diferenças na envoltória das edificações, existem outros fatores que devem ser considerados para atender a nova proposta da NBR 15.575 – *Desempenho de edificações habitacionais*.

O método de cálculo da NBR 15.575 propõe que sejam realizadas duas simulações com diferentes configurações: uma delas considerando as unidades habitacionais ventiladas naturalmente; e a outra considerando sistema de climatização por meio do cálculo da carga térmica. Portanto, foram configurados 2 modelos para cada tipologia analisada.

Para cada um dos modelos, foram inseridos no *EnergyPlus 9.0.1* as informações de entrada (*inputs*) de acordo com os requisitos apresentados da NBR 15.575. Os dados de entrada referem-se aos padrões de ocupação, uso de iluminação e equipamentos, configuração de ventilação natural, climatização artificial e contato da edificação com o solo.

### 3.1.1.1 Ocupação

A nova proposta da NBR 15.575 leva em consideração a ocupação da edificação. Para o padrão de ocupação das residências brasileiras, destaca-se a frequência de pessoas que permanecem em casa somente no período noturno, configurando padrões que trabalham e estudam durante o período diurno e vespertino.

A NBR 15575 determina que sejam avaliados os ambientes de permanência prolongada (APPs), que são definidos como os ambientes de dormitórios e as salas. Portanto, é necessário definir os padrões de ocupação para cada um destes ambientes.

O padrão de ocupação definido para o caso base das três tipologias que estão sendo analisadas é dividido entre a ocupação dos dormitórios e da sala. Os quartos têm ocupação noturna, das 22:00 até às 7:59. Já as salas são ocupadas das 14:00 até 21:59. A Tabela 3.2 representa a quantidade de pessoas em cada ambiente, de acordo com as horas de ocupação. Destaca-se que são considerados 2 pessoas por dormitório, e 4 pessoas no ambiente sala.

A ocupação do ambiente está diretamente relacionada com a carga térmica interna, uma vez que os usuários adicionam calor ao ambiente por meio da atividade metabólica. Portanto, além dos períodos de ocupação é preciso determinar quanto de calor é dissipado por cada ocupante. Para as salas, de acordo com a NBR 15.575, consideram-se os ocupantes com uma taxa metabólica de 108 Watts, já para os dormitórios são adotados ocupantes com uma taxa metabólica de 81 Watts (Tabela 3.3).

**Tabela 3.2 Padrões de ocupação diários dos APPs**

Horário	Ambientes	
	Dormitório (%)	Sala (%)
00:00 – 00:59	100	0
01:00 – 01:59	100	0
02:00 – 02:59	100	0
03:00 – 03:59	100	0
04:00 – 04:59	100	0
05:00 – 05:59	100	0
06:00 – 06:59	100	0
07:00 – 07:59	100	0
08:00 – 08:59	0	0
09:00 – 09:59	0	0
10:00 – 10:59	0	0
11:00 – 11:59	0	0
12:00 – 12:59	0	0
13:00 – 13:59	0	0
14:00 – 14:59	0	50
15:00 – 15:59	0	50
16:00 – 16:59	0	50
17:00 – 17:59	0	50
18:00 – 18:59	0	100
19:00 – 19:59	0	100
20:00 – 20:59	0	100
21:00 – 21:59	0	100
22:00 – 22:59	100	0
23:00 – 23:59	100	0

Tabela 3.3 Taxas metabólicas e fração radiante para os usuários

Ambiente	Período	Atividade realizada	Calor produzido por área de superfície corporal (W/m <sup>2</sup> )	Taxa metabólica (W)	Fração radiante
Dormitório	00:00 às 07:59 e 22:00 às 23:59	Dormindo ou descansando	45	81	0,30
Sala	14:00 às 21:59	Sentado ou assistindo TV	60	108	0,30

### 3.1.1.2 Iluminação artificial

Os padrões de iluminação artificial adotados também estão relacionados à ocupação dos ambientes. Tanto para os dormitórios quanto para as salas, foi considerada potência de iluminação de 5 W/m<sup>2</sup>. O uso da iluminação artificial nos dormitórios ocorre das 6:00 até às 7:59 e das 22:00 até 23:59. Já para as salas, o uso ocorre das 16:00 até 21:59. A Tabela 3.4 apresenta os horários de usos do sistema de iluminação. O valor de densidade de potência instalada de iluminação (DPI) e os valores de fração radiante e visível devem estar de acordo com a Tabela 3.5.

Tabela 3.4 Padrões de uso do sistema de iluminação artificial dos APPs

Horário	Ambientes	
	Dormitório (%)	Sala (%)
00:00 – 00:59	0	0
01:00 – 01:59	0	0
02:00 – 02:59	0	0
03:00 – 03:59	0	0
04:00 – 04:59	0	0
05:00 – 05:59	0	0
06:00 – 06:59	100	0
07:00 – 07:59	100	0
08:00 – 08:59	0	0
09:00 – 09:59	0	0
10:00 – 10:59	0	0
11:00 – 11:59	0	0
12:00 – 12:59	0	0
13:00 – 13:59	0	0
14:00 – 14:59	0	0
15:00 – 15:59	0	0
16:00 – 16:59	0	100
17:00 – 17:59	0	100
18:00 – 18:59	0	100
19:00 – 19:59	0	100
20:00 – 20:59	0	100
21:00 – 21:59	0	100
22:00 – 22:59	100	0
23:00 – 23:59	100	0

Tabela 3.5 Densidade de potência instalada, fração radiante e fração visível para o sistema de iluminação

Ambiente	DPI (W/m <sup>2</sup> )	Fração radiante	Fração visível
Dormitório	5,00	0,32	0,23
Sala	5,00	0,32	0,23
Uso misto	5,00	0,32	0,23

### 3.1.1.3 Equipamentos

Os equipamentos utilizados em uma unidade habitacional também são responsáveis por adicionar carga térmica aos ambientes. Portanto, é preciso definir os padrões de uso e a potência instalada dos equipamentos utilizados. Para o caso base são considerados os equipamentos presentes na sala de estar da unidade, sendo utilizados somente durante o período ocupado do ambiente.

A carga interna dos equipamentos deve ser adicionada apenas nos APPs referentes às salas, ou quando considerado uso misto, conforme o período de uso. Os valores de densidade de cargas internas e da fração radiante são descritos na Tabela 3.6. O padrão de uso de equipamentos deve ser considerado para todos os dias do ano, incluindo finais de semana.

Tabela 3.6 Período de uso, densidade de cargas internas e fração radiante para equipamentos dos APPs

Ambiente	Padrão de uso	Potência (W)	Fração radiante
Sala	14:00 às 21:59	120	0,30
Uso misto	14:00 às 21:59	120	0,30

### 3.1.1.4 Contato com o solo

As trocas de calor com o solo podem influenciar significativamente o comportamento térmico das edificações. Em casos de edificações térreas essas trocas de calor são ainda mais expressivas (ELI *et al.*, 2019a), pois todas as zonas térmicas da edificação estão em contato com o solo.

O comportamento térmico depende de características geológicas do solo, assim como das diferenças de temperatura. No programa EnergyPlus, esse fenômeno pode ser representado pelos objetos do *Ground Domain*. Os objetos do *Ground Domain* permitem diferentes configurações de placas de isolamento térmico e utiliza um modelo de diferenças finitas para obter as temperaturas do solo (ELI *et al.*, 2019b). O modelo permite que o programa tenha informações atualizadas das superfícies do solo, que serão utilizadas nos cálculos de balanço de calor da superfície.

A modelagem do *Ground Domain* leva em consideração características físicas do solo, como a condutividade térmica, densidade, calor específico, profundidade, evapotranspiração, entre outros. Os valores adotados para cada característica do solo foram definidos iguais aos valores exemplificados no Manual de Simulação Computacional de Edifícios com uso do Objeto *Ground Domain* no Programa EnergyPlus (ELI *et al.*, 2019b), e estão apresentados na Tabela 3.7. Estes valores mantêm-se os mesmos para as três unidades base e para as 8 zonas bioclimáticas analisadas. Durante a simulação, a temperatura do solo é determinada a partir dos dados obtidos no arquivo climático utilizado.

Tabela 3.7 Contato com o solo.

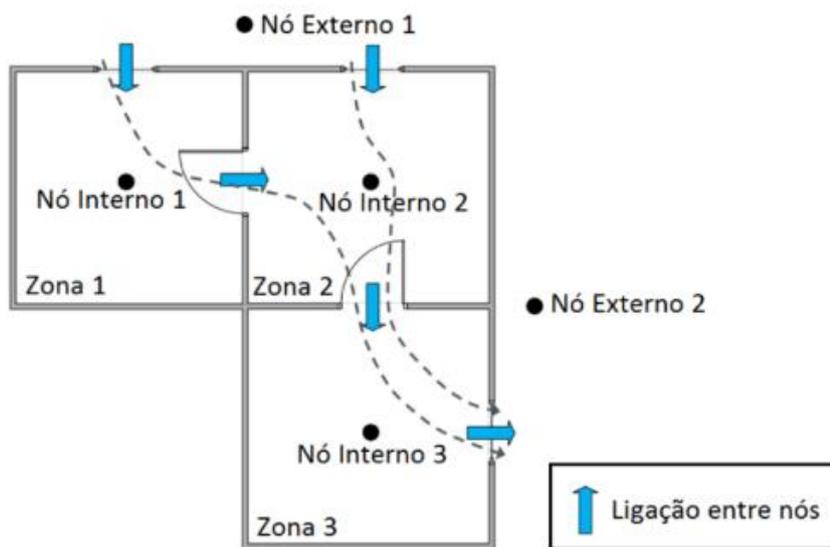
Diferenças finitas - solo		
Condutividade	1.5	W/m-K
Densidade	1250	kg/m <sup>3</sup>
Calor Específico	1500	J/Kg-K
Evapotranspiração	0,4	sem unidade

### 3.1.1.4 Ventilação Natural

Para modelar o comportamento da ventilação natural, o programa *EnergyPlus* utiliza os objetos do *Airflow Network* (AFN), que foi desenvolvido a partir de algoritmos do AIRNET (WALTON, 1989) e do COMIS (FEUSTEL; RAYNER-HOOSON, 1990).

O AFN funciona de maneira análoga a um circuito elétrico, a partir de uma rede de nós (Figura 3.1). Cada nó representa uma potência associada à pressão do ar, e corresponde a uma zona térmica da edificação, ou a um ponto externo à edificação, onde haja aberturas. Cada abertura (janelas e portas), representa um elemento de ligação, ao qual é atribuído uma resistência.

Figura 3.1 Rede de fluxo de ar.



Fonte: adaptado de DOE (2019)

A resistência dos elementos de ligação depende dos seguintes fatores: área da abertura, coeficiente de descarga da abertura ( $C_d$ ), fração de abertura (aberto, fechado, ou entre aberto). Caso a abertura esteja fechada, um modelo de infiltração de ar é utilizado. O *Airflow Network* (AFN) permite que seja criado um padrão de uso para controlar os horários e outras condições para permitir a abertura das janelas. Além disso, o modelo considera as variações de densidade e velocidade do ar de acordo com a altura, o que permite a representação de fluxos multidirecionais em aberturas verticais.

As variações de pressão sobre as superfícies externas da edificação são calculadas a partir dos dados obtidos nos arquivos climáticos, referentes à velocidade e direção do vento. Relacionando-se os dados do vento com as características geométricas da edificação, calcula-se os coeficientes de pressão (Cp), os quais são atribuídos a cada nó externo à edificação. Desta maneira, as trocas de ar entre o ambiente externo e as zonas térmicas da edificação podem ser calculadas. Destaca-se que os coeficientes de pressão são calculados pelo programa de simulação computacional EnergyPlus.

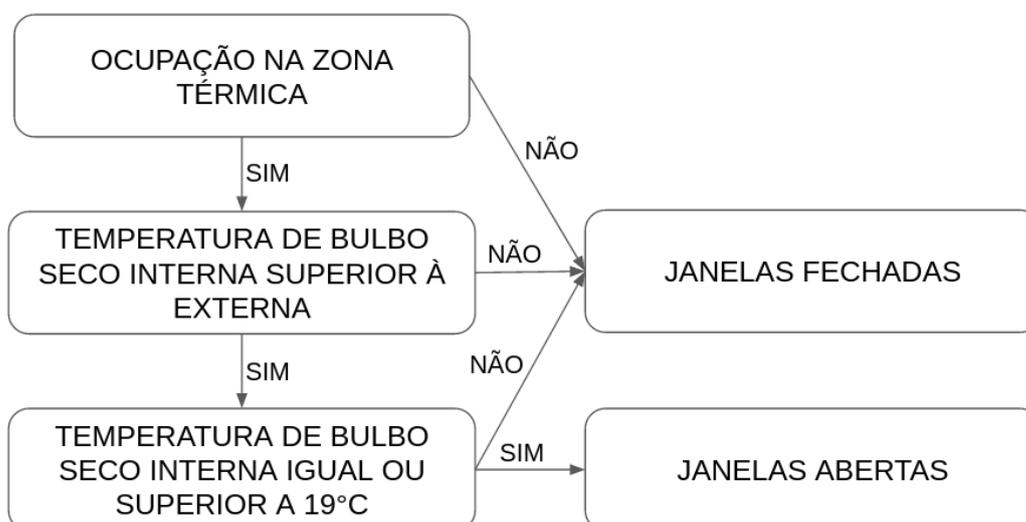
Em cada *timestep* da simulação, o AFN considera a massa de ar inserida na zona pelo fluxo nas aberturas e, somada à massa de ar já presente na zona no *timestep* anterior, calcula novos valores de temperatura e umidade do ar. Como a zona térmica é representada por um nó, a temperatura, pressão e umidade são considerados uniformes dentro da zona.

A ventilação natural nas unidades habitacionais descritas neste relatório foi modelada de acordo com a proposta do novo método da NBR 15.575, e segue as condições da Figura 3.2. Conforme a norma, as janelas dos ambientes de permanência transitória (APT), com exceção dos banheiros, são consideradas fechadas e com infiltração por frestas, durante todo o ano, de acordo com a Tabela 3.8. Para os APTs destinados à banheiros, devem-se considerar as janelas sempre abertas.

**Tabela 3.8 Descrição dos parâmetros da ventilação natural para portas e janelas em ambientes de permanência prolongada (APPs) e ambientes de permanência transitória (APT)**

Parâmetros	Portas	Janelas
Coeficiente de frestas quando a abertura está fechada (kg/s.m)	0,0024	0,00028
Expoente de frestas quando a abertura está fechada (adimensional)	0,59	0,63

**Figura 3.2 Condições para abertura das janelas na modelagem da ventilação natural.**



### 3.1.1.5 Carga térmica

O modelo para cálculo de carga térmica utiliza o *template* do próprio programa *EnergyPlus*, chamado de *ideal loads*. Esse sistema consiste em um modelo 100% eficiente de ar condicionado e é indicado para o usuário que quer estudar a influência das estratégias de eficiência energética na quantidade de carga térmica a ser retirada ou adicionada ao ambiente (ENERGYPLUS, 2018).

O sistema funciona identificando os momentos nos quais é necessário retirar ou adicionar a carga térmica dentro do ambiente, de acordo com um *setpoint* de temperatura (definição de um valor de temperatura para acionamento do sistema de condicionamento de ar). Além de identificar, o programa atua removendo/adicionando a carga necessária e, ao final da simulação, retorna os valores.

Para a base simulada presente neste relatório, o funcionamento do sistema de ar condicionado segue o método da nova proposta da NBR 15.575. Portanto, o funcionamento do sistema depende de dois fatores: ocupação do ambiente e temperatura desejada. O sistema de refrigeração é ativado se o ambiente está ocupado e a temperatura interna ultrapassar os 23°C. Já o sistema de aquecimento é acionado se o ambiente está ocupado e a temperatura interna for inferior a 21°C. Caso a temperatura interna esteja entre os valores de 23°C e 21°C, o sistema não é ativado.

Uma vez que o funcionamento do sistema está relacionado a ocupação, cada ambiente apresenta períodos de funcionamento diferentes. Nos dormitórios a disponibilidade do sistema de ar condicionado é das 22:00 até 07:59. Já na sala o sistema pode funcionar entre 14:00 e 21:59.

Ainda de acordo com a NBR 15.575 para o modelo de cálculo de carga térmica, as portas e janelas dos ambientes devem ser consideradas fechadas. Contudo, ainda é considerada uma taxa de infiltração de ar nos ambientes, referentes às trocas de ar com o ambiente externo por meio das frestas de portas e janelas (Tabela 3.8).

## 3.2 RESUMO DOS DADOS DE ENTRADA

Abaixo são apresentados os dados de entrada adotados para cada unidade base simulada.

### Área útil:

- Casa Unifamiliar térrea: 39,75 m<sup>2</sup>;
- Casa Unifamiliar Geminada: 38,12 m<sup>2</sup>;
- Multifamiliar em formato H: 43,07 m<sup>2</sup>;
- Pé direito dos três modelos: 2,50 m.

### Componentes construtivos:

- **Paredes e piso:** elemento de vedação com 10 cm de espessura, composto por um material com propriedades térmicas de acordo com as apresentadas na Tabela 3.9;
- **Cobertura tipologias unifamiliar, geminada e multifamiliar:** cobertura externa composta de telha com 8 mm de espessura, câmara de ar com resistência térmica

de 0,21 (m<sup>2</sup>.K)/W e laje com 100 mm de espessura, conforme as propriedades térmicas descritas na Tabela 3.10. Quando avaliada uma edificação localizada na zona bioclimática 8, deve-se considerar sobre a laje o uso de isolamento com resistência térmica igual a 0,67 (m<sup>2</sup>.K)/W, conforme a Tabela 3.11;

- **Vidro:** simples 3 mm (fator solar de 0,87), conforme Tabela 3.12;

- **Sombreamento:** Sem sombreamento nos casos de referência.

Tabela 3.9 – Propriedades térmicas dos materiais das paredes e do piso térreo.

	Condutividade térmica (W/m.K)	Calor específico (J/kg.K)	Absortância solar	Emissividade de onda longa	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
Parede em concreto 100 mm de espessura	1,75	1000	0,58	0,90	2200
Piso térreo em concreto 100 mm de espessura	1,75	1000	0,50	0,90	2200

Tabela 3.10 – Propriedades térmicas dos materiais da cobertura e da câmara de ar.

	Condutividade térmica (W/m.K)	Calor específico (J/kg.K)	Absortância solar	Emissividade de onda longa	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
Telha de fibrocimento com 8 mm de espessura	0,65	840	0,65	0,9	1700
Laje em concreto com 100 mm de espessura	1,75	1000	0,5	0,9	2200
	Resistência térmica (m <sup>2</sup> .K)/W				
Câmara de ar > 5 cm de (Superfície de alta emissividade > 0,8)	0,21				

Tabela 3.11 – Propriedades térmicas do material de isolamento da cobertura - zona bioclimática 8

	Resistência térmica (m <sup>2</sup> .K/W)	Absortância solar	Emissividade de onda longa
Isolamento térmico	0,67	0,7	0,9

Tabela 3.12 – Características dos elementos transparentes

	Fator solar	Transmitância térmica (W/m <sup>2</sup> .K)	Percentual de elementos transparentes (P <sub>tAPP</sub> ) (%)	Percentual de abertura de ventilação (P <sub>vAPP</sub> ) (%)
Aberturas dos APPs	0,87	5,70	17	7,65

#### Configuração da simulação para os três modelos:

- **Ocupação:** 4 pessoas, 2 em cada dormitório;
- **Atividade metabólica:** no dormitório 81 W; na sala 108 W;
- **Schedules de ocupação dormitórios:** 22h00 às 7h59;
- **Schedules de ocupação sala:** 14h00 às 17h59 com 2 ocupantes e das 18h00 às 21h59 com 4 ocupantes;
- **Iluminação artificial:** Uso durante a ocupação dos ambientes, com potência instalada de 5W/m<sup>2</sup>:
  - \* Dormitórios: Uso das 6h00 até as 7h59 e das 22h00 até 23h59.
  - \* Sala: Uso das 16h00 às 21h59.
- **Equipamentos sala:** Potência instalada de 120 W, com utilização das 14h00 até 21h59;
- **Ventilação Natural:** Abertura das janelas se o ambiente está ocupado, a temperatura interna é superior a externa e a temperatura interna for maior do que 19°C;
- **Climatização:** Utiliza o objeto *Ideal Loads*. O sistema pode ser utilizado somente com o ambiente ocupado:
  - \* *Setpoint* refrigeração: 23°C;
  - \* *Setpoint* aquecimento: 21°C.

## 4. REFERÊNCIAS

ABEP, Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa. **Alterações na aplicação do Critério Brasil, válidas a partir de 16/04/2018**. Brasil, 2018.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE 90.1-2019**: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. SI ed. Atlanta: Ashrae, 2019.

ATTIA, S.; EVRARD, A.; GRATIA, E. Development of benchmark models for the Egyptian residential buildings sector. **Applied Energy**, v. 94, p. 270–284, jun. 2012.

CB3E, Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. Proposta de Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Florianópolis, Brasil. 2018a. Disponível em: <<http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/2018-09-25-INI-R%20-%20Vers%C3%A3o02.pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2020.

DASCALAKI, E. G. et al. Building typologies as a tool for assessing the energy performance of residential buildings – A case study for the Hellenic building stock. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 12, p. 3400–3409, dez. 2011.

DA ROSA, A. S. Análise de agrupamentos aplicada à obtenção de modelos de referência para estudos de desempenho térmico de edificações. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2019.

DOE. **EnergyPlus 9.0**. U.S. Department of Energy, 2019. Disponível em: <<https://energyplus.net/>>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Plano Decenal de Expansão de Energia 2029. Brasília, 2019. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2029>>. Acesso em: 26 dez. 2019.

ELI *et al.* Análise de Sensibilidade e Incertezas dos Parâmetros Relacionados à Modelagem do Contato do Piso com o Solo no Programa EnergyPlus. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO 2019a, João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa, PB: ANTAC, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2019.

ELI, Letícia Gabriela; KRELLING, Amanda Fraga; MENDES, Lorrany Silva; SILVA, Rayner Maurício; MAZZAFERRO, Leonardo; MELO, Ana Paula; LAMBERTS, Roberto. Manual de Simulação Computacional de Edifícios com o Uso do Objeto Ground Domain no Programa EnergyPlus - Versão 9.0.1. Florianópolis: Labeee, 2019b. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios\\_pesquisa/Manual\\_GroundDomain\\_E%2Bversao9.0.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/Manual_GroundDomain_E%2Bversao9.0.pdf)>. Acesso em: 18 fev. 2020.

ENERGYPLUS. Engineering Reference. Fórmulas e métodos de cálculo adotados pelo programa EnergyPlus. Versão 9.0.1, 2018.

ENERGYPLUS. Auxiliary Programs. Programas auxiliares para facilitar o uso do programa EnergyPlus. Versão 9.0.1, 2018.

FEUSTEL, H. E.; RAYNER-HOOSON, A. **COMIS Fundamentals**. [S.l.]: Lawrence Berkeley Laboratory, 1990.

IEA – International Energy Agency. Mapping the Energy Future: Energy Modelling and Climate Change Policy. Energy and Environment Policy Analysis Series. Paris, France, International Energy Agency/Organisation for Economic Co-operation and Development, 1998.

KAVGIC, M. et al. A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector. **Building and Environment**, v. 45, n. 7, p. 1683–1697, jul. 2010.

SNH; GIZ; MITSIDI. “Mapa de Tipologias e Sistemas Construtivos do PMCMV, Faixa 1” Elaborado no Projeto EEDUS - Eficiência Energética para Desenvolvimento Urbano Sustentável no convênio entre a Secretaria Nacional de Habitação - SNH e a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH – GIZ. Julho 2019.

SORGATO, M. J.; MARINOSKI, D. L.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Nota técnica NBR 15575: Avaliação de desempenho térmico pela norma NBR 15575 em consulta pública em 2012. LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. 2012.

SORGATO, M. J.; VERSAGE, R.; LAMBERTS, R. Nota técnica N° 02/2011: Sombrear ou não sombreado janelas. LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. 2011.

SORGATO, M. J.; VERSAGE, R.; LAMBERTS, R. Nota técnica N° 03/2011: A influência da área de ventilação no desempenho térmico de edificações residenciais. LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. 2011.

TRIANA MONTES, M.A. Abordagem integrada no ciclo de vida de habitação de interesse social considerando mudanças climáticas. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterization of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy Policy**, v. 87, n. December 2014, p. 524–541, 2015.

VEIGA, Rodolfo Kirch; ELI, Letícia Gabriela; OLINGER, Marcelo Salles; MAZZAFERRO, Leonardo; PEREIRA, Helena Aviz da Costa; MELO, Ana Paula; VERSAGE, Rogério; SORGATO, Márcio; LAMBERTS, Roberto. Manual de Simulação Computacional de Edifícios Naturalmente Ventilados no Programa EnergyPlus - Versão 9.0.1. Florianópolis: Labeee, 2019. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios\\_pesquisa/Manual\\_VentNatural\\_E%2Bversao9.1.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/Manual_VentNatural_E%2Bversao9.1.pdf)>. Acesso em: 18 fev. 2020.

WALTON, G. N. **AIRNET** - a computer program for building airflow network modeling. National Bureau of Standards, NISTIR 89-, 1989.