

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Anna Clara Franzen De Nardin

**VIABILIDADE DO USO DA ENERGIA GEOTÉRMICA PARA  
CONDICIONAMENTO TÉRMICO DE HABITAÇÕES SOCIAIS**

Santa Maria, RS  
2019

Anna Clara Franzen de Nardin

**VIABILIDADE DO USO DA ENERGIA GEOTÉRMICA PARA  
CONDICIONAMENTO TÉRMICO DE HABITAÇÕES SOCIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheira Civil**.

Orientador: Profº Dr.º Marcos Alberto Oss Vaghetti

Santa Maria, RS

2019

Anna Clara Franzen De Nardin

## **VIABILIDADE DO USO DA ENERGIA GEOTÉRMICA PARA CONDICIONAMENTO TÉRMICO DE HABITAÇÕES SOCIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheira Civil**.

Aprovado em 11 de Julho de 2019:

---

**Marcos Alberto Oss Vaghetti, Profº Dr.º (UFSM)**

(Presidente/Orientador)

---

**Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos, Profº Dr.º (UFSM)**

---

**Fernando Marcuzzo Dotto, Profº Ms. (UFSM)**

Santa Maria, RS

2019

## AGRADECIMENTOS

Primeira e especialmente gostaria de agradecer ao meu pai, Carlos Roberto de Nardin por todo incentivo e participação decisiva ao longo da realização deste trabalho. Meu profundo agradecimento pelo direcionamento do meu raciocínio e por sensibilizar meus olhos para as possibilidades que a própria natureza nos apresenta.

Ao meu orientador, Marcos Alberto Oss Vaghetti, por ser a ponte que possibilitou que essa pesquisa se manifestasse da melhor forma possível. Gratidão por todo conhecimento, por todas as correções feitas e pela participação na banca final.

Agradeço ao professor Denis Rasquin Rabenschlag por estar sempre disponível a esclarecer minhas dúvidas, e pela contribuição fundamental para concretização deste estudo.

Minha mais sincera gratidão a minha família, por serem as raízes fortes que ancoraram toda minha jornada de vida, me apoiando e nutrindo desde o século passado.

A minha amiga Carolina Ferreira, pelo apoio constante, por todo incentivo a minha escrita, por acreditar na minha voz e com isso me fazer acreditar nela também.

Ao meu companheiro, Renan Casarin, por toda paciência e apoio, por manter os ouvidos atentos e acolhedores a todas as minhas reclamações ao longo do processo de escrita desta pesquisa.

Agradeço à banca examinadora pela leitura e sabedoria que muito acrescentaram; e a tantos outros que, de alguma forma, contribuíram para realização deste trabalho.

Por fim, mas não menos importante, meu profundo agradecimento à Universidade Federal de Santa Maria, por proporcionar um ensino gratuito e de qualidade, viabilizar oportunidades e realizar sonhos; não só meus, mas de tantos.

*“A genialidade do homem faz várias invenções, abrangendo com vários instrumentos o único e mesmo fim, mas nunca descobrirá uma invenção mais bela, mais econômica ou mais direta que a da natureza, pois nela nada falta e nada é supérfluo.”*

*(Leonardo Da Vinci)*

## RESUMO

# VIABILIDADE DO USO DA ENERGIA GEOTÉRMICA PARA CONDICIONAMENTO TÉRMICO DE HABITAÇÕES SOCIAIS

AUTORA: Anna Clara Franzen De Nardin  
ORIENTADOR: Marcos Alberto Oss Vaghetti

O aparelho de ar condicionado é atualmente um dos maiores consumidores de energia elétrica em residências. Uma alternativa passiva para contornar esse problema é o aproveitamento da energia geotérmica superficial para reduzir o consumo energético. Em habitações sociais faixa 1 do Programa Minha Casa Minha Vida, a falta de conforto térmico é, infelizmente, uma problemática comum. Devido à falta de recursos dos moradores, a apresentação de alternativas mais sustentáveis e econômicas para o aparelho de ar condicionado convencional torna-se necessária. Essa pesquisa objetiva verificar a viabilidade econômica de sistemas de bombas de calor geotérmicas para condicionamento térmico de habitações sociais, tendo como referência um protótipo implementado por De Nardin (2018) em uma edificação em Santa Maria-RS. Para isso foi realizada uma revisão bibliográfica, com posterior apresentação do protótipo instalado e elaboração da análise de viabilidade. Realizou-se um quadro orçamentário dos custos de investimento e operação, e a partir da aplicação de métodos da matemática financeira se obteve o tempo de retorno do investimento e o lucro gerado até o final da vida útil do sistema em diferentes cenários possíveis, para comprovar a eficácia do protótipo. Concluiu-se que o uso da energia geotérmica superficial é uma alternativa viável econômica, ambiental e socialmente para sanar o desconforto térmico em habitações sociais, devido ao seu baixo custo de implementação, a sua grande eficiência energética e à economia monetária gerada em comparação a um aparelho de ar condicionado comum.

**Palavras-chave:** Energia Geotérmica Superficial. Habitações de Interesse Social. Condicionamento Térmico. Sustentabilidade. Programa Minha Casa Minha Vida.

## ABSTRACT

### VIABILITY OF THE USE OF GEOTHERMAL ENERGY FOR THERMAL CONDITIONING OF SOCIAL HABITATIONS

AUTHOR: Anna Clara Franzen De Nardin

ADVISOR: Marcos Alberto Oss Vaghetti

The air conditioner is currently one of the largest consumers of electric power in residences. A passive alternative to overcome this problem is the use of surface geothermal energy to reduce energy consumption. In social housing of the Minha Casa Minha Vida Program, the lack of thermal comfort is, unfortunately, a common problem. Due to the lack of resources of the residents, the presentation of more sustainable and economical alternatives to the conventional air conditioner equipment becomes necessary. This research aims to verify the economic viability of geothermal heat pump systems for thermal conditioning of social housing, using as a reference a prototype implemented by De Nardin (2018) in a building in Santa Maria-RS. For this, a bibliographic review was carried out, with a later presentation of the prototype installed and elaboration of the feasibility analysis. A budgetary framework was developed for the investment and operating costs, and with the application of financial mathematical methods was obtained the payback of the investment and the profit generated up to the end of the useful life of the system in different possible scenarios to prove the effectiveness of the prototype. It was concluded that the use of surface geothermal energy is a viable alternative economically, environmentally and socially to remedy the thermal discomfort in social housing, due to its low implementation cost, its high energy efficiency and the monetary economy generated in comparison to a common air conditioner.

**Keywords:** Surface Geothermal Energy. Social Housing. Thermal Conditioning. Sustainability. Minha Casa Minha Vida Program.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Reconstrução de uma típica habitação enterrada Kaingáng.....	14
Figura 2 – Vistas da Casa Edgeland. ....	15
Figura 3 – Sistema de condicionamento geotérmico da Edgeland.....	16
Figura 4 – A problemática do conforto térmico em habitações sociais.....	22
Figura 5 – Exemplo da tipologia 1: casa térrea do PMCMV .....	25
Figura 6 – Exemplo da tipologia 2: apartamento do PMCMV.....	26
Figura 7 – Principais aparelhos consumidores de energia elétrica em residências .....	28
Figura 8 – Perspectiva de participação do condicionamento de ambientes na demanda energética do país/região e no crescimento da demanda elétrica mundial até 2050.....	29
Figura 9 – Perspectiva de aumento do estoque de aparelhos de ar condicionado até 2050. ....	30
Figura 10 – Número de instalações de GSHPs em 2015.....	33
Figura 11 – Temperaturas máximas e mínimas médias de Santa Maria/ RS .....	36
Figura 12 – Variações sazonais de temperaturas no solo próximas à superfície em Santa Maria/RS.....	36
Figura 13 – Fachada da casa protótipo geminada.....	37
Figura 14 – Planta baixa representando a sala de testes e a sala de referência .....	37
Figura 15 – Mangueira enterrada à 5 metros de profundidade.....	38
Figura 16 – Detalhe ilustrativo da localização do trocador de calor geotérmico .....	39
Figura 17 – Funcionamento do protótipo de GSHP .....	39



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Síntese do Programa Minha Casa Minha Vida.....	24
Quadro 2 – Zonas bioclimáticas para as quais os sistemas alternativos de geração de energia são itens obrigatórios.....	27
Quadro 3 – Comparação da estimativa de custos de investimento de ASHP e GSHP para edificação de referência .....	42
Quadro 4 – Vida Útil de Projeto para condicionadores de ar de acordo com a NBR 15.575 ..	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo de energia elétrica por equipamento, em uma hora.....	43
Tabela 2 – Comparação de consumo energético mensal entre o ar condicionado convencional e o sistema GSHP .....	44
Tabela 3 – VPL da diferença entre o aparelho de ar condicionado tradicional e o protótipo de GSHP para bandeira tarifária verde e taxa Selic 6,5%.....	46
Tabela 4 – VPL da diferença entre o aparelho de ar condicionado tradicional e o protótipo de GSHP para os Casos A e B.....	48

## LISTA DE ABREVIATURAS

ASHP	<i>Air Source Heat Pump</i>
BTU/h	Unidade Térmica Britânica por hora
CO2	Dióxido de Carbono
EGS	Energia Geotérmica Superficial
GSHP	<i>Ground Source Heat Pump</i>
HFC	Hidrofluorcarbonetos
IEA	<i>International Energy Agency</i>
KWh	Quilowatt-hora
NBR	Norma Brasileira
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PVC	Policloreto de Vinila
TMA	Taxa Mínima Atrativa
TWh	Terawatt-hora
VPL	Valor Presente Líquido
VUP	Vida Útil de Projeto

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	17
1.2 OBJETIVOS.....	18
1.2.1 Objetivo Geral.....	18
1.2.2 Objetivos Específicos.....	18
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>20</b>
2.1 CONFORTO TÉRMICO EM HABITAÇÕES SOCIAIS .....	20
2.2 O PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA.....	23
2.3 O PROBLEMA DO AR-CONDICIONADO .....	28
2.4 A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E O USO DA ENERGIA GEOTÉRMICA.....	31
<b>3 EDIFICAÇÃO DE REFERÊNCIA .....</b>	<b>35</b>
3.1 DADOS CLIMÁTICOS.....	35
3.2 PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO E APRESENTAÇÃO DO PROTÓTIPO ...	37
<b>4 VIABILIDADE ECONÔMICA .....</b>	<b>41</b>
4.1 LEVANTAMENTO DOS CUSTOS DE INVESTIMENTO .....	42
4.2 LEVANTAMENTO DOS CUSTOS DE OPERAÇÃO .....	43
4.3 ESTIMATIVA DO TEMPO DE RETORNO E DO LUCRO NO FINAL DA VIDA ÚTIL PELO MÉTODO VPL .....	44
4.3 ANÁLISE DE SENSITIVIDADE .....	47
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>49</b>
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	49
5.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS .....	50
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A terra é um dos materiais mais baratos e fáceis de serem encontrados no ambiente. Procurar refúgio no seu ventre e se beneficiar do seu abrigo, calor e acolhimento é algo que é feito há muitas gerações, e é uma das técnicas construtivas mais antigas já datadas. O uso da terra como abrigo data da era pré-histórica, desde a habitação em cavernas até a construção de cidades inteiras subterrâneas, como Matmata na Tunísia, Göreme na Turquia e a província de Henan, na China.

Os primeiros seres humanos começaram a habitar cavernas através da observação e imitação do que acontece na natureza, a exemplo das tocas de animais. Uma toca, segundo definição da zoologia, é um esconderijo e um abrigo que o animal escava na terra ou encontra em formações naturais como cavernas, buracos ou árvores. A toca, assim como a casa, serve para refugiar-se, habitar, acasalar ou ter filhotes, proporcionando proteção contra predadores e fatores do clima. Essa observação da natureza, não só replicando suas formas mas entendendo seu funcionamento e aplicando seus princípios para solucionar problemas de projeto, pode ser encontrada como conceito primordial em um ramo da ciência relativamente novo, porém de caráter ancestral, chamado biomimética. De acordo com a definição da bióloga Janine Benyus:

"[...] É sobre olhar para a natureza para inspiração para novas invenções, é sobre aprender a viver graciosamente neste planeta, imitando conscientemente o gênio da vida. Não é realmente tecnologia ou biologia; é a tecnologia da biologia. [...] é se tornar aprendiz da natureza, imitando seu design para resolver desafios dignos e criar novos produtos, processos e políticas - novas formas de vida - que sejam bem adaptadas à vida na Terra em longo prazo. É aprender a cultivar alimentos como uma pradaria, aderir como uma lagartixa, confiscar carbono como um molusco, criar cores como um pavão e administrar um negócio como uma floresta de sequoias. Como aprendizes, todos nós estamos dando nascimento ao que será o maior legado da biomimética - um profundo respeito pelo mundo natural." (BENYUS, 2016, p. 1-2, tradução da autora).

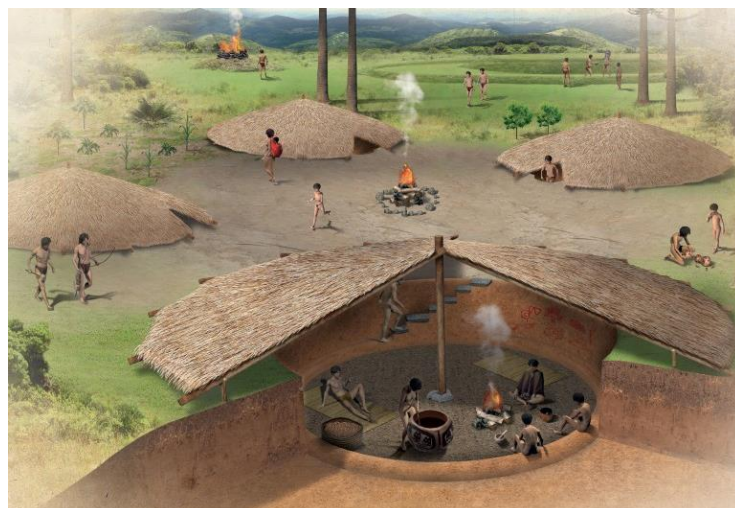
Segundo Benyus (2016), a resposta para a pergunta "O que a natureza faria aqui?" É uma revelação. Após 3,8 bilhões de anos de evolução, ela sabe o que funciona, o que é mais apropriado, e o que perdura, criando oportunidades em vez de desperdício. A ideia central é que a natureza já resolveu muitos dos problemas com os quais estamos lidando: produção de energia e alimentos, conforto térmico, transporte, etc. Observar como a natureza encontrou essas soluções pode ajudar os humanos a evoluírem para tecnologias que consomem menos energia, reduzem o uso de materiais, rejeitam o uso de toxinas, e trabalham de maneira sistêmica ao invés de destrutiva para criar condições propícias para a vida. Quando se aprende

com a natureza, replicando sua sabedoria para solucionar problemas de projeto, o resultado só pode ser funcional, sustentável e não surpreendentemente, lindo.

Voltar o olhar para a terra, nesse sentido, é algo muito sábio. As construções enterradas inspiradas nas tocas de animais são inteligentíssimas e extremamente inovadoras, na medida em que podem solucionar a baixo custo o alto gasto energético atual com condicionamento térmico de ambientes. Devido à sua alta capacidade térmica, a temperatura do solo é menor que a do ar externo no verão e maior no inverno. Conseqüentemente, a energia de aquecimento e resfriamento de uma construção enterrada é menor do que a de um edifício acima do solo correspondente.

Um exemplo do uso desse conceito são as casas subterrâneas do povo indígena Kaingáng, que habita há séculos o sul do Brasil, distribuindo-se entre os estados de São Paulo, Santa Catarina e principalmente Paraná e Rio Grande do Sul. Para se proteger do inverno rigoroso que atinge a região, os Kaingáng enterravam suas casas mantendo-as protegidas dos ventos intensos que cortam o planalto. Segundo Amparo (2010), a datação provável dessas habitações indica uma predominância dos séculos IV ao XVIII. Conforme mostra a figura 1, trata-se de casas circulares, escavadas na terra e com dimensões variáveis: entre 2 e 13 metros de diâmetro, e uma profundidade média de 2,5 a 5 metros. De acordo com D'Angelis e Veiga (2003), sobre a cova circular que delimitava a casa erguia-se uma cobertura de folhas sustentada em uma armação de madeira, em parte fixada na base da casa, e em parte fixada nas bordas laterais da cova. Essa cobertura ficava pouco acima do nível do terreno, garantindo ventilação, iluminação e trânsito.

Figura 1 – Reconstrução de uma típica habitação enterrada Kaingáng.



Esse tipo de habitação não foi apenas usada por indígenas em tempos remotos ou por homens das cavernas. Essa forma de habitar é usada ainda hoje em várias partes do mundo, como um meio de resgatar a sustentabilidade do ambiente construído. Um dos muitos exemplos atuais é a Casa Edgeland, projetada pelo estúdio Bercy Chen Studio em 2012 e localizada em Austin, Texas (Figura 2). De acordo com os arquitetos, o design da residência é inspirado na arquitetura vernacular e é uma reinterpretação moderna da antiga arquitetura indígena norte-americana, a "casa da cova". Assim como as habitações dos Kaingáng, os índios nativos americanos também moravam em habitações tipicamente subterrâneas, aproveitando a massa da terra para manter o conforto térmico durante o ano. Segundo o Studio, a casa Edgeland é sobre a cura da Terra e sobre melhorar as cicatrizes do passado: “Em um mundo cada vez mais genérico e ‘des-naturado’, estamos interessados na produção de uma arquitetura atenta à especificidade de um lugar”.

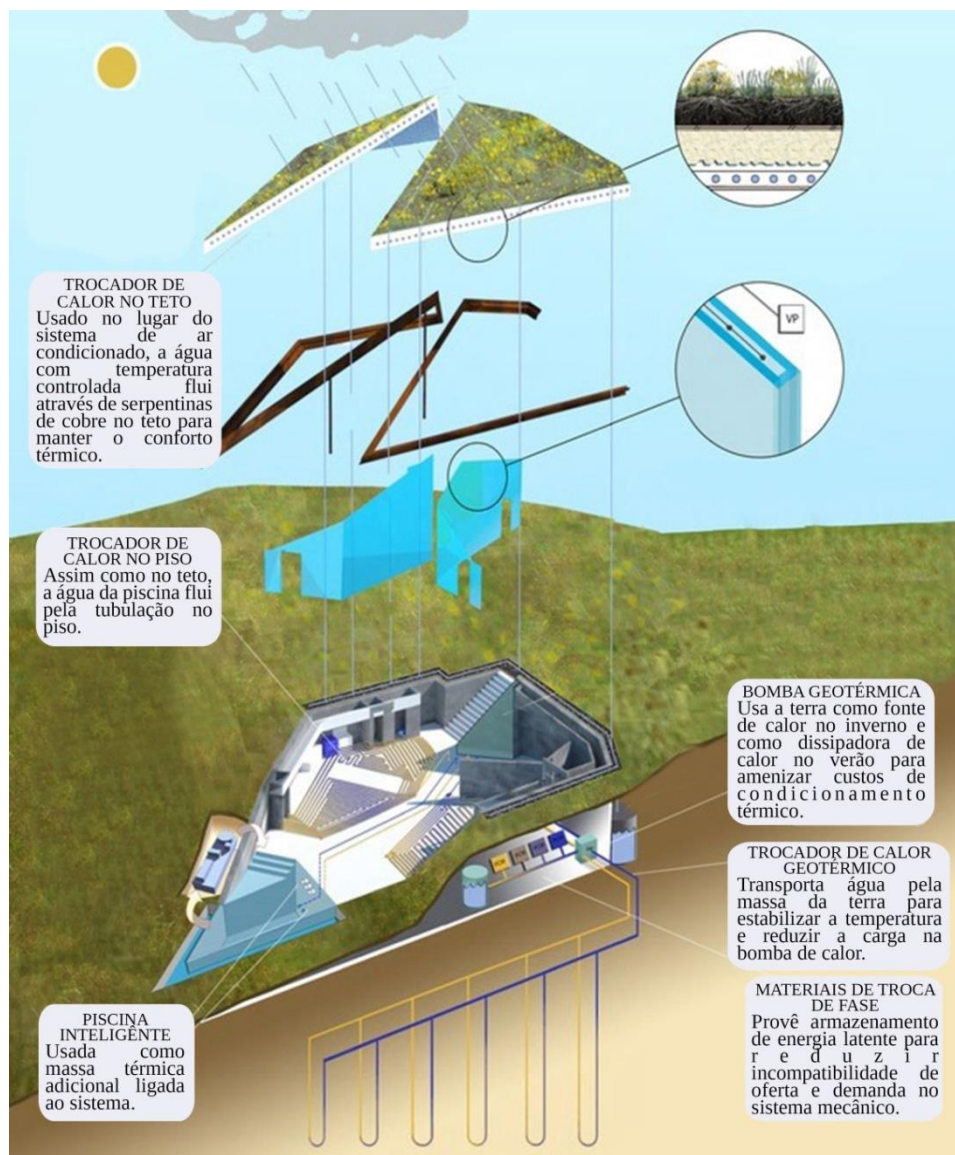
Figura 2 – Vistas da Casa Edgeland.



Fonte: Delaqua (2013).

A residência Edgeland não é só um exemplo de casa enterrada, mas é também inovadora, pois seu sistema construtivo faz uso de bombas de calor geotérmicas (*ground source heat pumps*, GSHP), conforme Figura 3. Nessa casa o dispositivo é similar ao piso térmico, pois contém em seu interior uma tubulação em circuito fechado por onde flui água aquecida ou resfriada previamente pela bomba de calor, propiciando a climatização. Por sua vez, a bomba de calor absorve ou dissipa este calor através da massa de terra que circunda o trocador de calor geotérmico. Assim, no verão o sistema retira o calor da edificação e a transfere para a terra, enquanto que no inverno faz o processo contrário.

Figura 3 – Sistema de condicionamento geotérmico da Edgeland.



Fonte: Traduzido e adaptado de Delaqua (2013).

Esse sistema usa o mesmo princípio da arquitetura enterrada para aproveitamento da inércia térmica da terra, porém de forma mais moderna, flexível e propícia a ser usada nas grandes aglomerações urbanas, onde se enterrar uma casa beira o inviável. Nesse modelo, a energia geotérmica flui para a edificação indiretamente, através de trocadores de calor enterrados.

O aproveitamento da energia geotérmica superficial já é utilizado em projetos arquitetônicos ao redor do mundo, e fica o questionamento se esse conceito poderia ser aplicado para condicionamento térmico de edificações sociais, como as do Programa Minha Casa Minha Vida. Sabe-se que essas habitações são muitas vezes construídas com material de



pouca qualidade e com projetos que não levam em consideração as especificidades do lugar como orientação solar, ventilação e iluminação naturais. Esses fatores fazem com que as edificações necessitem de equipamentos mecânicos de condicionamento térmico, que muitas vezes as famílias não têm condições de manter, devido ao alto preço da energia elétrica. Se o problema do gasto energético com conforto térmico já é grande, nesse cenário é mais necessária ainda a busca de soluções alternativas. Este trabalho busca responder se a tecnologia de GSHPs pode ser considerada uma solução para o problema do desconforto térmico dessas habitações, através de uma revisão bibliográfica e estudo de viabilidade econômica do protótipo implementado por De Nardin (2018) em uma edificação de referência em Santa Maria – RS.

Voltar o olhar para a inércia térmica da terra para controle da temperatura remete a um entendimento que só surgiu a partir da experiência direta e constante com os elementos naturais. Atualmente, com a urbanização e o uso de aparelhos mecânicos de conforto térmico, há uma desconexão com a natureza que afasta os projetistas de sentirem realmente na pele o quanto as temperaturas tem se alterado e os dessensibiliza de projetar pensando na conservação. Perdeu-se em grande parte a experiência de primeira mão com o clima e como resultado, deixou-se de levar em consideração como os edifícios respondem a condições atmosféricas particulares.

Recentemente, com o aquecimento global em pauta, e a busca de soluções sustentáveis para a redução do consumo de energia, a preocupação com a eficiência energética se tornou uma problemática a ser pensada no projeto de edificações. Ocorreu uma reaproximação da natureza e uma reflexão sobre o impacto causado a ela. O Planeta Terra é um sistema vivo, e os seres humanos são uma parte desse sistema. Com o que contribuirão para a manutenção do todo? Continuarão sendo como uma doença ou irão colaborar com a cura? O uso de técnicas passivas para controle do conforto térmico assume então uma grande importância, e o aproveitamento da energia geotérmica aparece como uma grande solução.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A busca por novas soluções na construção civil, que aproxime as necessidades humanas e ambientais para a construção de um cenário em que a natureza se manifeste de forma íntegra é um dos focos das novas gerações. Entender as origens dos problemas energéticos e se posicionar frente às suas consequências pode ser um ponto chave para a

construção de um mundo mais sustentável, uma necessidade urgente diante de um planeta que sofre cada vez mais com o aquecimento global, com o desperdício e com a má distribuição de recursos. O alto consumo energético e a crise do petróleo só deixa mais evidente a inevitabilidade de se buscar fontes alternativas de energia, que estejam mais alinhadas à preservação ambiental.

Um dos maiores problemas de conforto térmico em residências é o das habitações sociais, e a realização dessa pesquisa visa propor uma solução energética acessível para esse setor que atenda aos três pilares da sustentabilidade: ambiental, econômico e social, contribuindo para uma visão da engenharia mais alinhada com o desenvolvimento sustentável. A discussão busca resgatar o papel do engenheiro civil como agente social, a partir de uma visão integral e holística, além de contribuir para construção de uma relação saudável entre os seres humanos, o planeta e os negócios.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O Objetivo geral deste trabalho é verificar a viabilidade econômica da utilização de bombas de calor geotérmicas para condicionamento térmico de habitações populares atendidas pela faixa 1 do Programa Minha Casa Minha Vida, a partir de uma análise do protótipo elaborado por De Nardin (2018) em Santa Maria, Rio Grande do Sul.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- a) apresentar uma alternativa acessível e mais eficiente em relação ao ar condicionado convencional;
- b) avaliar a eficiência energética de um sistema de bomba de calor geotérmica;
- c) estabelecer um orçamento médio de implantação de um sistema de bomba de calor geotérmica;
- d) determinar o tempo de retorno do investimento e o lucro gerado pela economia energética do protótipo até o final da sua vida útil, em relação ao ar condicionado convencional.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este primeiro capítulo introduz a ideia a ser explorada, através do contexto histórico do uso da geotermia para conforto térmico de edificações e um panorama evolutivo da técnica. Apresenta-se também a justificativa e os objetivos do estudo.

O Capítulo 2 relata uma revisão bibliográfica acerca de quatro conceitos importantíssimos para compreensão da problemática dessa pesquisa: o (des) conforto térmico em habitações sociais brasileiras, o Programa Minha Casa Minha Vida, os impactos energéticos e ambientais causados pelo consumo crescente de aparelhos de ar condicionado para condicionamento térmico de ambientes, e explicações gerais a respeito do uso da inércia térmica da terra como alternativa ao ar condicionado convencional.

O Capítulo 3 traz informações relativas à edificação de referência, além de discorrer sobre os materiais utilizados para construção do protótipo de GSHP e seu princípio de funcionamento. Em seguida, o Capítulo 4 apresenta a análise de viabilidade econômica de GSHPs para condicionamento térmico de habitações sociais, a partir da elaboração de um quadro orçamentário de todos os materiais e serviços necessários para sua implantação, além dos seus custos operacionais. Posteriormente é demonstrado o tempo de retorno do investimento e a economia monetária obtida com o uso da energia geotérmica até o final da vida útil do sistema através do método VPL (Valor Presente Líquido). Neste capítulo também é realizada uma análise de sensibilidade para a melhor e pior situação possível de uso de GSHPs, considerando-se a variação da bandeira tarifária de energia elétrica e da taxa Selic.

Por fim, o Capítulo 5 resume as conclusões obtidas e estabelece algumas considerações para investigações futuras.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CONFORTO TÉRMICO EM HABITAÇÕES SOCIAIS

Um dos requisitos fundamentais quando se pensa na criação de espaços habitáveis é o conforto térmico. Segundo Arantes (2011), desde os primórdios da humanidade o ser humano buscou se proteger das intempéries através de soluções disponíveis no ambiente e de maneira intuitiva, sendo a habitação intrinsecamente associada ao conceito de abrigo. A moradia é o refúgio necessário para amenizar a sensação de desconforto. Menezes (2006) afirma que “uma habitação só oferece habitabilidade e qualidade de vida aos seus ocupantes se o conforto térmico for contemplado”.

“O conceito de conforto térmico se refere ao estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda” (LAMBERTS et al., 2016, p. 6). A satisfação ocorre quando o balanço térmico é estável, ou seja, não há diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente, ocorrendo a neutralidade térmica. Entretanto, a neutralidade não é sozinha uma condição suficiente para que uma pessoa esteja em conforto térmico, visto que a sensação humana está situada no campo subjetivo e depende, além de fatores físicos, de fatores fisiológicos e psicológicos.

De acordo com Xavier (1999, p. 17) para que o conforto térmico exista é necessário:

[...] que se verifiquem três condições fisiológicas e ambientais, sem as quais este estado não é capaz de ser atingido, quais sejam: que a pessoa se encontre em neutralidade térmica; que a temperatura de sua pele e a sua taxa de secreção de suor, estejam dentro de certos limites compatíveis com sua atividade; que a pessoa não esteja sujeita a nenhum tipo de desconforto térmico localizado.

Conforme resume Malheiros (2005 apud Arantes, 2012), o conforto ambiental é uma união de fatores fisiológicos (visuais, acústicos e térmicos), psicológicos (de reconhecimento, adaptação), funcionais (atividades, permanência, convivência) e dimensionais (espaço, antropometria) agradáveis, que em conjunto contribuem com a sensação de bem-estar.

O conforto térmico é uma qualidade fundamental para se pensar a nível de projeto, e desde o início dos tempos foi levado em consideração nas construções através do aproveitamento e potencialização das características desejáveis do clima e minimização das características indesejáveis. Segundo Pereira (2003, apud Rotta, 2009, p.39) os mestres da construção do passado sabiam que o sol, o vento, a luz e a chuva interferem diretamente na edificação, fazendo exigências construtivas distintas de acordo com o local de implantação.

Porém, com a revolução industrial, mudou-se o modo de se pensar as edificações, devido ao aumento da velocidade de produção e constante desenvolvimento de novas tecnologias. A arquitetura bioclimática, que usa elementos arquitetônicos e tecnologias construtivas para se adequar ao clima e aos condicionantes naturais, foi deixada de lado e, de acordo com Lima (2010), se deu início às chamadas “soluções arquitetônicas internacionalizadas”: soluções generalizadas para poderem ser aplicadas em diferentes tipos de edifícios em diversas partes do mundo. “uma mesma tipologia de projeto [...] é adotada em cidades com características muito distintas, sendo desconsiderada a grande diversidade [...] entre as diferentes regiões do Brasil” (ROTTA, 2009, p. 21). Deixou-se de levar em conta as características climáticas do local de implantação, mas o conforto térmico não deixou de ser desejado. Para conseguir atingir um nível satisfatório de conforto, começou-se a buscar alternativas artificiais para resfriamento e aquecimento de ambientes, requerendo um alto consumo energético.

Conforme afirma Rotta (2009), a massificação dos padrões construtivos de habitações populares brasileiras advém das consequências deixadas pelo padrão de pensamento construtivo e pela crise habitacional ocasionada pela industrialização. Após o êxodo rural e a intensa urbanização, a população se viu dependente de programas governamentais para ter acesso à habitação e começaram a se proliferar os conjuntos habitacionais de padrão popular. Segundo Menezes (2006) a repetição de unidades habitacionais em série, sem preocupação com as adequações bioclimáticas necessárias ao projeto, revela programas governamentais defasados, indiferentes à qualidade projetual e à habitabilidade das edificações. A figura 4 retrata de forma esquemática esse processo:

Figura 4 – A problemática do conforto térmico em habitações sociais.



Fonte: A autora (2019).

Simões (2018) realizou um estudo em dois conjuntos habitacionais de interesse social situados em João Pessoa/PB, e concluiu que:

“[...] as condições de conforto nas unidades residenciais são críticas, apresentam, principalmente, altas temperaturas do ar no interior das habitações e menores taxas de ventilação natural, praticamente imperceptível. O que prevalece na amostra é a faixa de desconforto, sendo 73% em Gadanho e 70% no Timbó em relação à variável de importante representatividade que é a Temperatura do ar. O intervalo de desconforto com Média de Temperatura do ar foi de 29,13°C a 30,72°C em Gadanho e 28,84°C a 30,36°C no Timbó, valores acima da faixa confortável recomendada. Diante do desconforto térmico nas unidades habitacionais, a principal estratégia de conforto utilizada pelos moradores é o uso do ventilador, deixar esquadrias sempre abertas com fechamento apenas no horário de dormir, usar poucas roupas, tomar bebida gelada, ou recorrer às áreas externas com melhores condições térmicas para permanência.”

A partir dessas observações fica claro o quanto é necessário voltarmos nossa atenção à falta de conforto térmico em habitações sociais. É importante considerar que se trata de uma população de baixa renda, e a falta de conforto implica em um uso maior do ventilador e sistemas mecânicos de condicionamento térmico, o que acarreta em um maior consumo energético e reflete no orçamento dessas famílias. A sensação de bem-estar no interior das moradias populares não é um tema muito discutido e observa-se que após a entrega das unidades não há um acompanhamento do pós-uso. Essa visibilidade para o tema é importante para que possam ser identificados os problemas de projeto, evitando assim que sejam repetidos nas próximas unidades habitacionais. “Considerando-se que a adoção de um determinado sistema construtivo para esse tipo de edificação será repetido por inúmeras vezes, qualquer erro de projeto assume grandes proporções.” (ROTTA, 2009, p. 21).

## 2.2 O PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA

De acordo com Braga (2009), ao observarmos as grandes cidades brasileiras, nos deparamos facilmente com um cenário que explicita a desigualdade social: de um lado, condições econômicas privilegiadas nas estruturas urbanas formais. De outro, condições miseráveis manifestadas nas ocupações informais. O déficit habitacional sempre foi um dos maiores problemas enfrentados pelo governo brasileiro, desde que se deu início ao processo de urbanização. É por esse motivo que em 2003 se criou o Ministério das Cidades, uma entidade que vêm desenvolvendo políticas públicas habitacionais, investimentos e planos de gestão para tentar combater o déficit habitacional que abrange a população de baixa renda. Entre essas políticas se encontra o Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV). Segundo Saporito (2015):

“Sem condições de prover moradia digna a essas famílias e sem a produção privada trabalhando neste setor, o Governo Federal lançou, no início de 2009, o programa Minha Casa, Minha Vida para fomentar a produção de moradias para este público da baixa renda em consonância com o empreendedor privado por meio de inovações com relação a questões ligadas ao financiamento e instrumentalização de recursos públicos, por meio de subsídios financeiros à população e benefícios tributários aos agentes participantes.”

Ainda de acordo com Saporito (2015, p. 28 apud Virgílio, 2010), há três segmentos populacionais possíveis de serem atendidos: famílias sem capacidade nenhuma de pagamento, famílias com capacidade parcial de pagamento e famílias com total capacidade de pagamento. O PMCMV reconhece essa divisão e foi idealizado para atender as famílias sem capacidade de pagamento a partir de subsídios, ou com capacidade parcial de pagamento, através de financiamentos. Dessa forma, o programa classifica as famílias em quatro faixas conforme quadro 1, elaborado a partir de dados da Caixa Econômica Federal:

Quadro 1 – Síntese do Programa Minha Casa Minha Vida.

Faixa	Renda familiar máxima	Valor máximo do imóvel	Benefícios
1	R\$ 1.800,00	R\$ 96.000,00	Subsídios de até 90% e restante do valor do imóvel dividido em 120 meses (10 anos), com parcela mínima de R\$ 80,00 e máxima de R\$ 270,00.
1,5	R\$ 2.600,00	R\$ 125.000,00	Subsídios de até 47,5 mil reais, taxa de juros de 5% ao ano e até 30 anos para pagar.
2	R\$ 4.000,00	R\$ 225.000,00	Subsídios de até R\$ 29.000,00, taxa de juros de até 8% ao ano e 30 anos para pagar.
3	R\$ 9.000,00	R\$ 225.000,00	Taxa de juros de 9,16% ao ano e 30 anos para pagar.

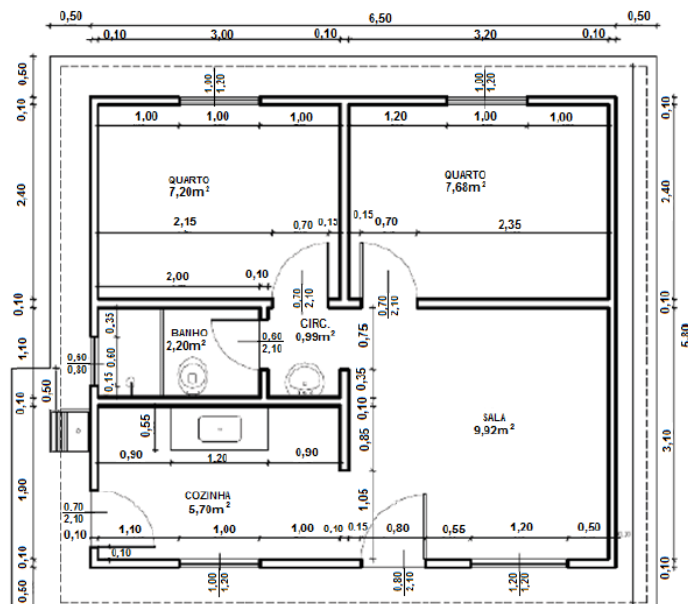
Fonte: A autora (2019).

O presente trabalho irá concentrar-se na faixa 1 do programa, que engloba a população com maior carência. Nessa modalidade é feita a aquisição de empreendimentos na planta com especificações e custos já definidos. As edificações são casas térreas (tipologia 1) ou prédios (tipologia 2), com limites de até 500 unidades por módulo, ou condomínios segmentados em 250 unidades. A planta típica da tipologia 1 é dada pela figura 5, e deve apresentar as seguintes especificações:

- Compartimentos: sala, cozinha, banheiro, 2 dormitórios, área externa com tanque;
- Área da unidade: 35 m<sup>2</sup>;
- Área interna: 32 m<sup>2</sup>;
- Piso: cerâmico na cozinha e banheiro, cimentado no restante;
- Revestimento de alvenarias: azulejo 1,50m nas paredes hidráulicas e box;
- Reboco interno e externo com pintura PVA no restante;
- Forro: laje de concreto ou forro de madeira ou pvc;
- Cobertura: telha cerâmica;
- Esquadrias: janelas de ferro ou alumínio e portas de madeira;
- Dimensões dos compartimentos: compatível com mobiliário mínimo;
- Pé-direito: 2,20m na cozinha e banheiro, 2,50m no restante;
- Instalações hidráulicas: número de pontos definido, medição independente;
- Instalações elétricas: número de pontos definido, especificação mínima de materiais;
- Aquecimento solar/térmico: instalação de kit completo;
- Passeio: 0,50m no perímetro da construção.



Figura 5 – Exemplo da tipologia 1: casa térrea do PMCMV.



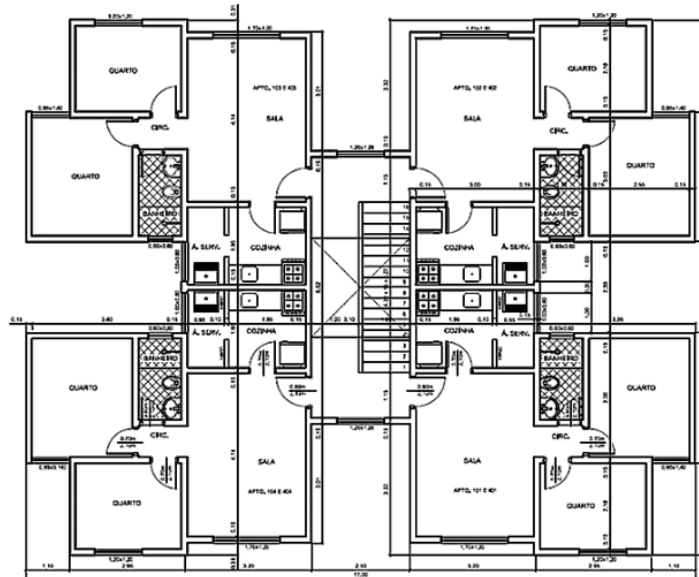
Fonte: Cartilha do PMCMV.

A tipologia 2 consiste em um apartamento, conforme exemplifica figura 6, com as seguintes especificações:

- Compartimentos: sala, cozinha, área de serviço, banheiro, 2 dormitórios;
- Prédio: 4 pavimentos, 16 apartamentos por bloco – opção: até 5 pavimentos e 20 apartamentos;
- Área da unidade: 42m<sup>2</sup>;
- Área interna: 37 m<sup>2</sup>;
- Piso: cerâmico na cozinha e banheiro, cimentado no restante;
- Revestimento de alvenarias: azulejo 1,50m nas paredes hidráulicas e box. Reboco interno e externo com pintura PVA no restante;
- Forro: laje de concreto;
- Cobertura: telha fibrocimento;
- Esquadrias: janelas de ferro ou alumínio e portas de madeira;
- Dimensões dos compartimentos: compatível com mobiliário mínimo;
- Pé-direito: 2,20m na cozinha e banheiro, 2,40m no restante;
- Instalações hidráulicas: número de pontos definido, medição independente;
- Instalações elétricas: número de pontos definido, especificação mínima de materiais;

- Aquecimento solar/térmico: instalação de kit completo;
- Passeio: 0,50m no perímetro da construção.

Figura 6 – Exemplo da tipologia 2: apartamento do PMCMV.



Fonte: Cartilha do PMCMV.

Um requisito que merece maior atenção nas duas tipologias é a obrigatoriedade do uso de aquecimento solar para água do chuveiro, conforme Portaria nº 269 do Ministério das Cidades, de 22 de março de 2017, que dispõe sobre as diretrizes para a elaboração de projetos de unidades habitacionais no âmbito do PMCMV. Nesse documento é citado:

“[...] c) O projeto do empreendimento deve adotar estratégias para proporcionar melhores condições de conforto ambiental térmico, de acordo com as condições climáticas e características físicas e geográficas a zona bioclimática do sítio físico selecionado e seu entorno; d) O projeto do empreendimento deverá prever estratégias para a redução do consumo de energia e propiciar, quando possível, a utilização de fontes renováveis de energia (solar, eólica, fotovoltaica, etc.)” (BRASIL, p. 4, 2017a)

A portaria nº 643, de 13 de novembro de 2017 retifica alguns requisitos da portaria 269, e dispõe sobre as condições gerais para provisão de sistemas alternativos de geração de energia no âmbito do PMCMV.

“Art. 2º - O estabelecimento de condições gerais para utilização de sistemas alternativos de geração de energia nos empreendimentos do PMCMV tem por objetivo adotar medidas visando à sustentabilidade ambiental dos empreendimentos, com obtenção de maior eficiência energética e contribuindo para a economia de energia e redução de despesas dos beneficiários. Art. 3º - Para fins do disposto nesta Portaria

consideram-se sistemas alternativos de geração de energia aqueles instalados em empreendimentos ou conjunto de empreendimentos, podendo ser complementares às redes de distribuição existentes no município e que utilizem fontes renováveis, tais como: I - energia de biomassa; II - energia eólica; III - energia solar; IV - energia oceânica; e V - outras que vierem a ser reconhecidas e integrem o Sistema Elétrico Brasileiro. § 1º - São considerados sistemas de geração de energia solar: I - sistema de aquecimento de água (SAS); II - sistema de geração de energia elétrica a partir da radiação solar, por meio do efeito fotovoltaico, ou Sistema Fotovoltaico (SFV). § 2º - Os demais sistemas de geração de energia mencionados nos incisos do *caput* poderão ser utilizados à medida que suas especificações técnicas sejam definidas e validadas para utilização em empreendimentos de habitação de interesse social.” (BRASIL, 2017b).

De acordo com o Art. 4º para a tipologia casa é obrigatória a instalação de sistema de geração de energia via solar, ou outro sistema de geração de energia mencionado no artigo 3º, nas zonas bioclimáticas definidas pela NBR 15.220-3 exemplificadas no quadro 2. Deve-se considerar a elevação máxima do valor de aquisição das unidades habitacionais em até R\$ 3.000,00 (três mil reais), valor que engloba os custos de aquisição, instalação e demais serviços necessários ao sistema proposto.

Quadro 2 – Zonas bioclimáticas para as quais os sistemas alternativos de geração de energia são itens obrigatórios.

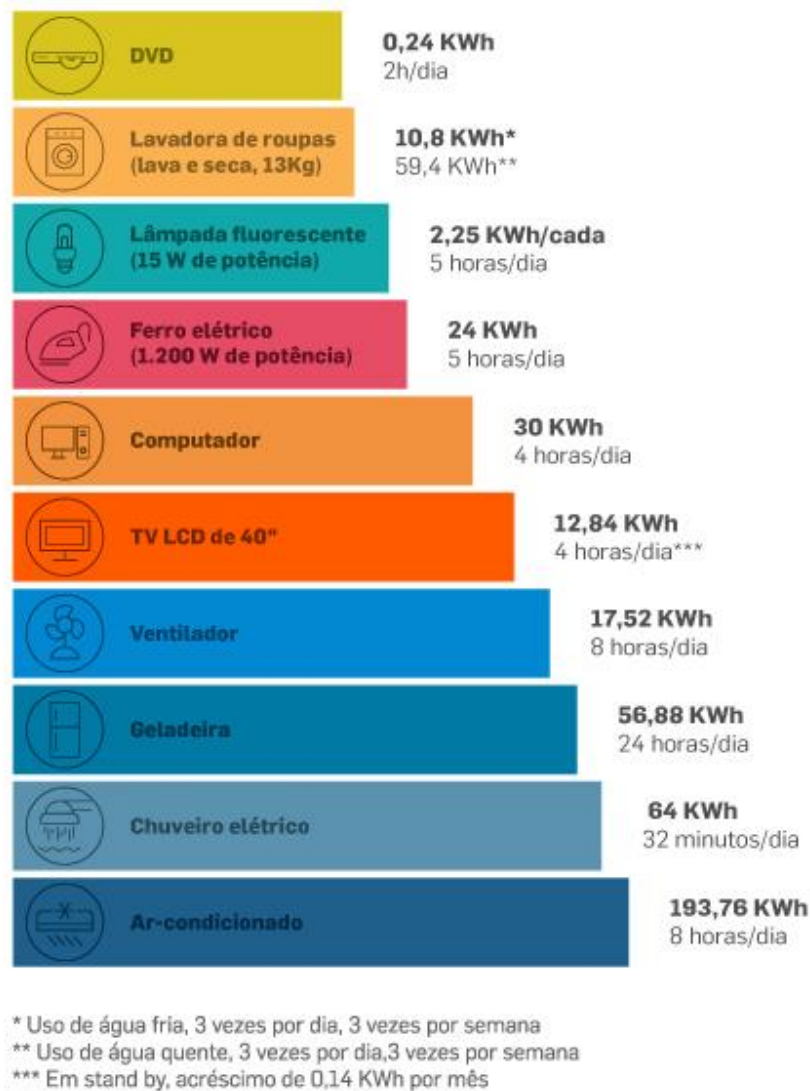
<b>Região</b>	<b>Zona Bioclimática</b>
Centro-oeste	Z3, Z4, Z5, Z6, Z7 e Z8
Sudeste	Z3, Z4, Z5 e Z6
Sul	Z1, Z2 e Z3

Fonte: BRASIL, 2017b.

Observa-se que para Santa Maria, que se encontra na zona bioclimática Z2, o uso de sistemas alternativos de geração de energia é requisito obrigatório. A proposta da portaria revela a preocupação crescente com a busca de soluções mais conscientes para o problema do gasto energético devido ao chuveiro elétrico, um dos aparelhos que mais consomem energia elétrica em residências juntamente ao aparelho de ar condicionado, conforme Figura 7. Porém nenhuma deliberação oficial foi feita ainda sobre a questão do condicionamento térmico. A

partir de dados discutidos nos próximos capítulos, seguida da apresentação do uso de GSHP como alternativa ao ar condicionado convencional e posterior análise de viabilidade financeira do sistema, procura-se verificar se essa seria uma solução possível de ser implementada em residências contempladas pela faixa 1 do programa.

Figura 7 – Principais aparelhos consumidores de energia elétrica em residências.



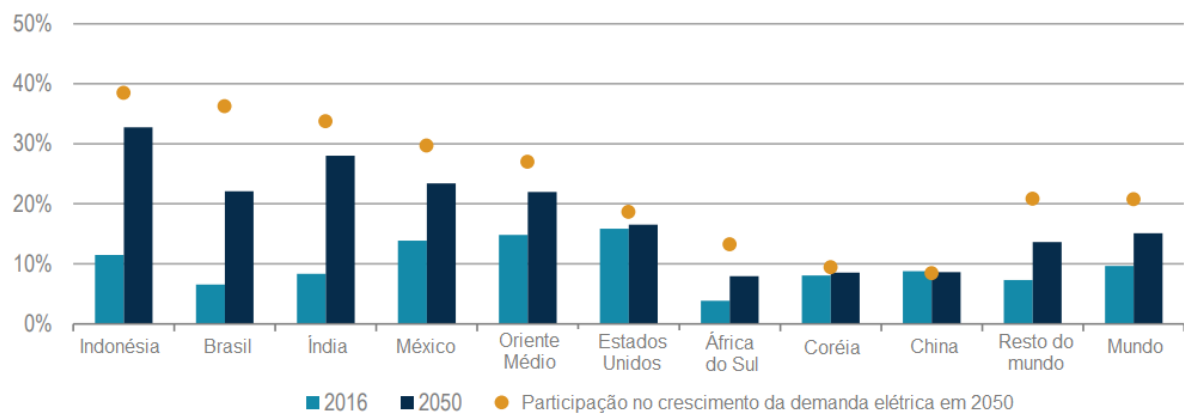
Fonte: Valle (2017)

### 2.3 O PROBLEMA DO AR-CONDICIONADO

No mundo, o consumo energético para climatização em edifícios cresce mais rápido que qualquer outro uso final, mais que triplicando entre 1990 e 2016. O conforto ambiental, normalmente gerado por meio de ventiladores elétricos ou aparelhos de ar condicionado já

contribui com um consumo de aproximadamente 2000 terawatt-hora (TWh) de energia, e a perspectiva para 2050 é de que atinja 6200 TWh, sendo 70% do aumento advindo somente do setor residencial, segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2018). De acordo com a Figura 8, aproximadamente 10% da energia elétrica total usada em edifícios ao redor do mundo atualmente é devida ao uso de condicionadores de ar. A previsão para 2050 é que essa porcentagem aumente para 16% se não forem tomadas novas medidas de eficiência energética nos aparelhos.

Figura 8 – Perspectiva de participação do condicionamento de ambientes na demanda energética do país/região e no crescimento da demanda elétrica mundial até 2050.



Fonte: Traduzido de IEA (2018).

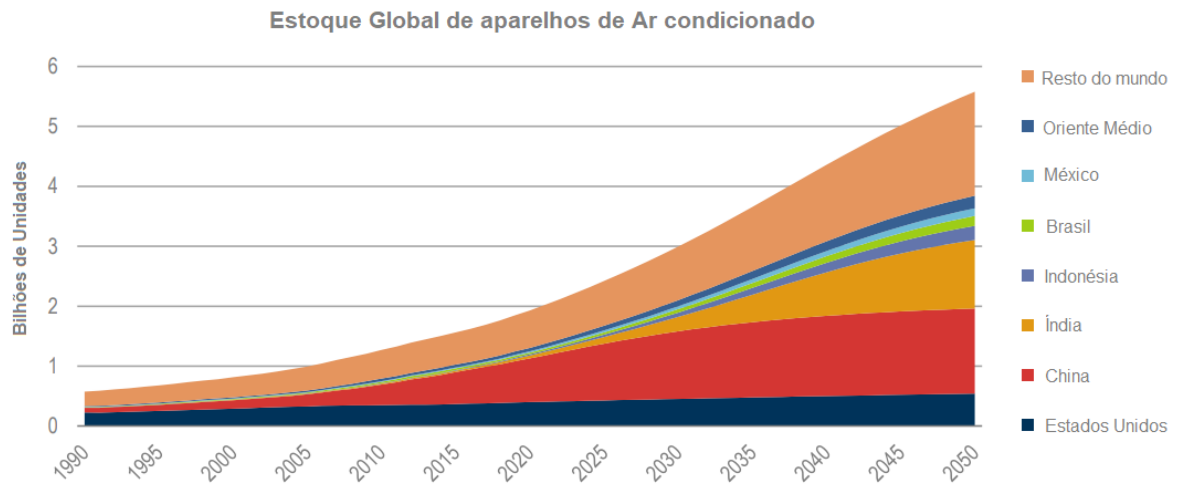
De acordo com a figura 8, o Brasil se apresenta como um dos países com maior perspectiva de crescimento da demanda energética para conforto térmico e com uma das maiores contribuições ao crescimento da demanda elétrica mundial. Estima-se que a aquisição de ar condicionado pelas famílias brasileiras tenha mais que duplicado entre 2005 e 2017.

“Espera-se que a demanda por eletricidade devido ao uso de condicionadores de ar continue aumentando nas próximas décadas, decorrente, principalmente, do crescimento da população, da elevação da renda e da maior preferência dos indivíduos por ambientes climatizados.” (BRASIL, 2018).

Segundo dados da Figura 9, o estoque de aparelhos de ar condicionado no Brasil era de 27 milhões de unidades em 2018, enquanto que em 2050 espera-se um estoque de 165 milhões de unidades. Isso indica um aumento de aproximadamente cento e trinta e seis milhões de equipamentos em 32 anos. No cenário mundial, os dados são ainda mais preocupantes: o estoque global de condicionadores de ar em edifícios crescerá para 5,6

bilhões até 2050, em comparação com os 1,8 bilhões de 2018. Isso equivale a 10 novos aparelhos de ar condicionado vendidos a cada segundo pelos próximos 30 anos.

Figura 9 – Perspectiva de aumento do estoque de aparelhos de ar condicionado até 2050



Fonte: Traduzido de IEA (2018).

De acordo com Abel (2018), em um planeta ameaçado pelas mudanças climáticas, o ar-condicionado parece ser a solução para enfrentar o desconforto térmico. Mas enquanto ajuda a amenizar a temperatura do ambiente interno, também contribui para deixar a Terra mais quente, devido à queima de combustíveis fósseis para suprir a demanda energética e consequentemente aumentando a poluição do ar. À medida que os termômetros continuarem a subir, o uso do aparelho se fará ainda mais frequente e mais popular, contribuindo ainda mais com o aquecimento global e tornando o problema uma bola de neve.

Os combustíveis fósseis ainda são responsáveis por boa parte da energia total gerada mundialmente. Em 2016, 65% da energia gerada no planeta foi a partir dessa fonte, resultando em emissões médias de 505 gramas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por kWh de geração elétrica. O arrefecimento de espaços por aparelhos de ar condicionado consumiu um total de 2000 TWh de eletricidade em 2016, correspondendo à emissão de 1130 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, segundo dados da IEA.

A queima de combustíveis fósseis também gera material particulado, um subproduto invisível, porém extremamente prejudicial à saúde. Trata-se de finas partículas que estando suspensas são inaladas e, em grandes quantidades, podem afetar os sistemas respiratório, imunológico e cardiovascular. Abel (2018) realizou um estudo que examina futuros danos à saúde causados pela poluição do ar gerada pelo setor energético, para suprir o aumento da

demanda de ar condicionado. Esse estudo considerou o cenário norte-americano até metade do século e concluiu que 3,8% do aumento total de material particulado fino e 6,7% do aumento total do ozônio são atribuíveis ao uso do ar-condicionado.

Além disso, muitos aparelhos ainda utilizam hidrofluorcarbonetos, (HFCs), que são super poluentes e agravam o efeito estufa, tendo um potencial de aquecimento global duas mil vezes maior do que o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), considerado um dos principais gases contribuintes para esse efeito. De acordo com Velders et. al. (2012), os HFCs são um dos gases de efeito estufa que crescem mais rapidamente, com concentrações atmosféricas aumentando à taxa de 10 à 15% por ano.

Segundo pesquisa de SHAH, N. et al. (2015), embora haja alguma incerteza associada às projeções de emissões e crescimento, a simples melhoria da eficiência energética dos aparelhos de ar-condicionado (aproximadamente 30% mais eficientes que a tecnologia de 2015) em paralelo com o uso de equipamentos com baixa geração de gases de efeito estufa poderia evitar até 25 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> em 2030, 33 bilhões em 2040 e aproximadamente 40 bilhões em 2050, ou seja, uma economia acumulada de até 98 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>. Essa análise destaca que a mudança é necessária e vital. “A resposta é energia limpa.” (ABEL, 2018).

## 2.4 A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E O USO DA ENERGIA GEOTÉRMICA

“Com o aquecimento global e em uma era de combustível cada vez mais caro, há um poderoso incentivo para reduzir o consumo de energia em edifícios.” (HUMPHREYS; NICOL; RAJA, 2007). Ainda de acordo com Nicol e Humphreys (2002), a definição de padrões aceitáveis para o interior de edificações é importante não só para torná-las confortáveis, mas também para determinar seu consumo energético e garantir sua sustentabilidade. Com o aumento da poluição e mudança climática, os próprios padrões cairão em descrédito e até mesmo em desuso se exigirem uma quantidade excessiva de energia para o seu cumprimento.

Segundo Lamberts et al. (2016) a eficiência energética pode ser entendida como um atributo inerente à edificação representante de seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico com baixo consumo. As soluções de eficiência energética para atender à demanda por resfriamento cria uma interseção entre três metas acordadas internacionalmente pelo Brasil: o Acordo de Paris, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável que apresenta

metas que devem ser atingidas até 2030, e a Emenda de Kigali do Protocolo de Montreal, que prevê reduções na produção gases refrigerantes responsáveis pelo aquecimento global.

“Seja para aquecimento ou resfriamento, a fim de se reduzir o consumo energético de edificações, uma das primeiras medidas deveria ser o uso de soluções passivas [...]” (BARCELOS, 2018, p. 22). É nesse cenário que voltamos nossa atenção ao solo e ao aproveitamento da energia geotérmica superficial (EGS) como alternativa energética para o condicionamento térmico.

De acordo com a profundidade do solo, há uma menor variação de temperatura ao longo do ano devido à sua alta capacidade térmica, ou seja, no verão a terra torna-se mais fria que o ar sobrejacente, e no inverno mais quente. Conforme Torres (2017), a EGS é definida pela energia térmica armazenada no subsolo em profundidades inferiores a 400 metros, cujo aproveitamento, mediante a utilização de bombas de calor, permite a climatização de espaços. Segundo De Nardin (2015, p. 23):

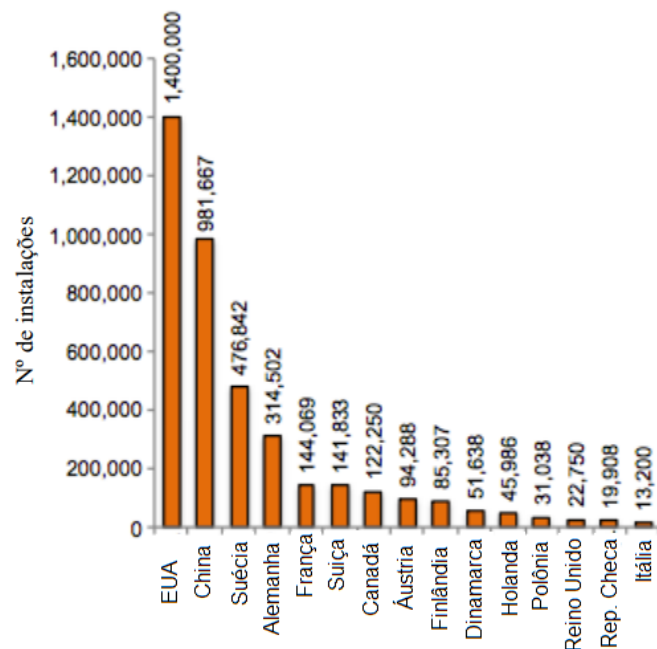
“Nestas profundidades a temperatura tende a variar muito pouco ao longo do ano e pode ser aproveitada para trocas de calor com equipamentos na superfície. O princípio básico de funcionamento do condicionamento geotérmico superficial é a retirada de calor da camada superficial do terreno, através da circulação de um fluido refrigerante em serpentinas instaladas no subterrâneo e no ambiente a ser condicionado. A circulação do fluido dentro das serpentinas enterradas é feita com o auxílio de uma bomba hidráulica de pequeno porte, fazendo com que ocorra a troca de calor entre o solo e o ambiente interno.”

De acordo com Wu (2009, p.17), os componentes de um sistema de bomba de calor geotérmica são: a bomba de calor, a ligação à terra (para extrair ou entregar o calor ao subsolo), e um sistema de distribuição (para entregar ou extrair o calor da habitação). Os equipamentos que se baseiam neste princípio para condicionamento térmico são chamados de *Ground source heat pump* (GSHP), ou bomba de calor geotérmica. A diferença entre essa tecnologia e o ar condicionado convencional (*Air Source Heat Pump*, ASHP) é que enquanto o primeiro possui o circuito enterrado para realizar esta operação com o solo, o segundo realiza a troca calor com o ar. De acordo com Torres (2017, p.18 apud Rees, 2016), os ASHPs podem ser relativamente econômicos em termos de custos de investimento, porém as temperaturas do ar são voláteis e úmidas, podendo congelar ocasionalmente o permutador de calor exterior. Comparativamente ao ar, o solo apresenta a vantagem de ter uma maior capacidade térmica, o que garante uma temperatura mais estabilizada e mais próxima da pretendida para o ambiente a climatizar, além de permitir maior eficiência.



Ainda segundo Torres (2017, p. 19 apud Rees, 2016), os GSHPs são uma das formas mais eficientes de aquecimento que podem ser concebidas e uma das tecnologias verdes com maior potencial. Não é a toa que nos últimos anos tem se observado um crescimento constante do uso dessa técnica, conforme dados do Congresso Mundial de Geotermia de 2015 (Figura 10). O gráfico mostra que já havia 1,4 milhões de instalações geotérmicas reportadas naquele ano apenas nos Estados Unidos, seguido de China e países da Europa.

Figura 10 – Número de instalações de GSHPs em 2015.



Fonte: adaptado de Rees (2016).

Apesar de ainda apresentar um uso muito baixo entre os países em desenvolvimento, devido ao custo de investimento ser mais elevado em comparação com os aparelhos de ar condicionado convencionais, os sistemas de GSHP possuem um grande potencial econômico. Segundo Taylor et. al. (2011 apud Barcelos, 2018), em razão do rápido crescimento na demanda residencial e industrial, esses países necessitam investir grandes valores em geração e distribuição de energia, já que a infraestrutura requerida para isso é de alto custo. Assim, quanto mais for estimulado o uso de sistemas de alta eficiência, menos será necessária a aplicação de capital em redes de energia, justificando o incentivo financeiro do governo.

Segundo Torres (2017) esses incentivos podem ser concretizados por meio de subsídios para a substituição de equipamentos menos eficientes e impostos sobre a emissão de

CO<sub>2</sub>. Essas medidas se verificam em alguns dos países com maior implementação de GSHPs, demonstrando o papel essencial que o governo assume nesse caso como catalizador de formas alternativas de energia, já que o principal fator que impede essa tecnologia de se disseminar ainda mais é o alto custo inicial. Conforme Barcelos (2018) soma-se ao fator financeiro a falta de estudos locais quanto ao comportamento de GSHPs que forneçam dados mais confiáveis para o dimensionamento. Ele afirma que não é suficiente sabermos que a geotermia é uma alternativa eficiente para condicionamento térmico. É preciso saber o quanto o ganho justifica o investimento pago para estimular a demanda nesse setor. Nesse caso, estudos de viabilidade econômica são essenciais.

### 3 EDIFICAÇÃO DE REFERÊNCIA

O protótipo do sistema de GSHP implementado por De Nardin (2018), que servirá de base para o estudo de viabilidade posteriormente apresentado, fica localizado em uma edificação no campus da Universidade Federal de Santa Maria em Santa Maria, Rio Grande do Sul. Segundo Barcelos (2018) as condições climáticas do estado, com grandes amplitudes sazonais, demandam tanto aquecimento como resfriamento e tornam o uso de GSHPs uma escolha sábia para condicionamento térmico.

O retorno econômico desse sistema ocorre apenas em regiões com sazonalidade climática, propiciando uma alta eficiência energética. Em locais onde a temperatura se mantém constante ao longo do ano, tal como na zona equatorial do planeta, a temperatura do solo se encontra muito próxima da temperatura ambiente. Nesse caso, a eficiência energética do sistema GSHP não é significativa e o sistema se torna inviável. Por esse motivo, para o projeto de GSHPs é importante se ter em mãos dados climáticos detalhados do local de implantação, pois o projeto da bomba de calor requer calcular a estimativa da demanda a partir da identificação das condições climáticas típicas e extremas a serem consideradas.

#### 3.1 DADOS CLIMÁTICOS

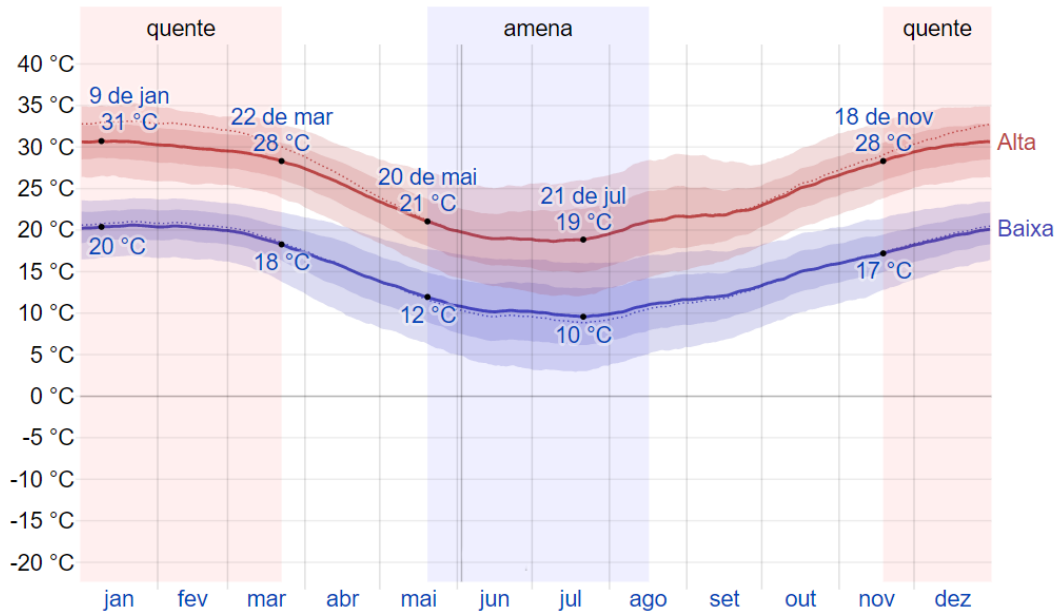
Pela classificação da NBR 15220-3, que propõe recomendações técnico-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações sociais, no Rio Grande do Sul se encontram as zonas bioclimáticas Z1, Z2 e Z3. Santa Maria, mais especificamente, se encontra na zona bioclimática Z2 com as recomendações de estratégias passivas de condicionamento J (ventilação cruzada), B (aquecimento solar da edificação) e C (inércia térmica). Segundo dados do site Weather Spark (2019), na cidade:

“[...] a estação quente permanece por 4,1 meses, de 18 de novembro a 22 de março, com temperatura máxima média diária acima de 28 °C. O dia mais quente do ano é 9 de janeiro, cuja temperatura máxima média é de 31 °C e a mínima média é de 20 °C. A estação fresca permanece por 2,9 meses, de 20 de maio a 16 de agosto, com temperatura máxima diária em média abaixo de 21 °C. O dia mais frio do ano é 21 de julho, com média de 10 °C para a temperatura mínima e 19 °C para a máxima.”

Ao comparar-se a Figura 11 abaixo com a Figura 12 na sequência, percebe-se a grande influência da inércia térmica do solo em manter a terra a uma temperatura agradável ao longo do ano. Acima do solo, a temperatura média máxima atingida em Santa Maria é de aproximadamente 31°C no mês de janeiro e a média mínima é de 10°C no mês de julho,

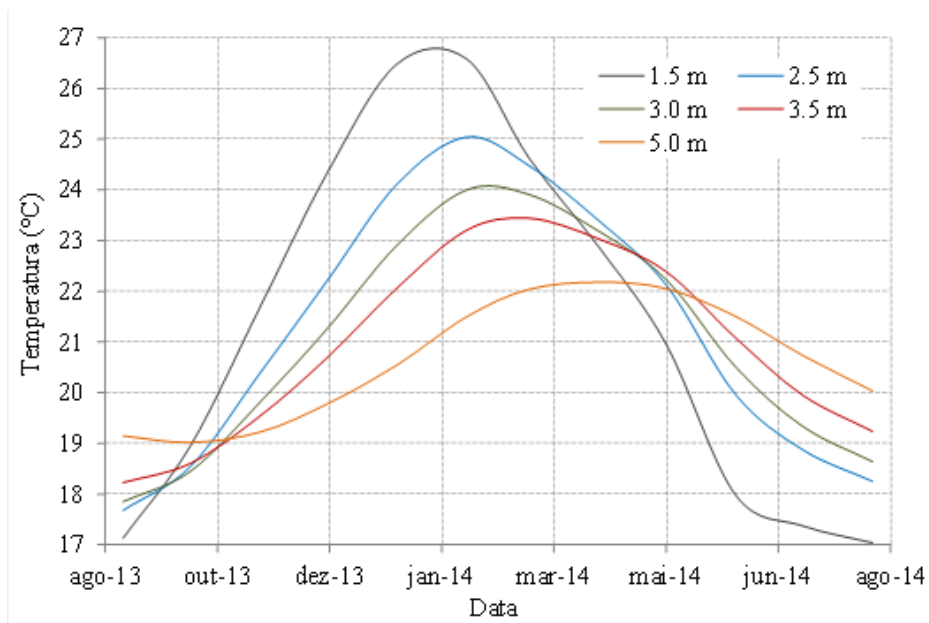
enquanto que a cinco metros de profundidade essas variações são amenizadas para 22°C no mês de abril e 19°C no mês de outubro.

Figura 11 – Temperaturas máximas e mínimas médias de Santa Maria/ RS.



Fonte: Weather Spark (2019).

Figura 12 – Variações sazonais de temperaturas no solo próximas à superfície em Santa Maria/RS.



Fonte: Longo (2014)

### 3.2 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMENTO E APRESENTAÇÃO DO PROTÓTIPO

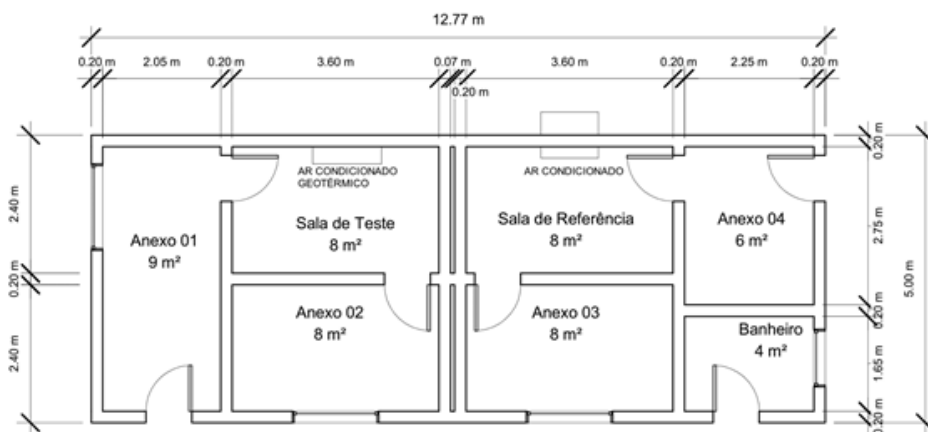
Na edificação, o protótipo do sistema de GSHP com capacidade de refrigeração de 7500 Unidades Térmicas Britânicas por hora (BTU/h) foi instalado em uma sala denominada sala de teste. Na sala ao lado, denominada sala de referência, com mesma carga térmica e área física, foi instalado um aparelho de ar condicionado da mesma marca e modelo utilizado no protótipo, tornando possível a comparação do consumo de energia elétrica entre os dois sistemas. A figura 13 apresenta a foto da casa geminada onde os testes foram realizados, cuja fachada frontal forma um ângulo de  $72^\circ$  em relação ao norte geográfico. Já na figura 14 pode-se observar a planta baixa da mesma.

Figura 13 – Fachada da casa protótipo geminada.



Fonte: De Nardin (2018).

Figura 14 – Planta baixa representando a sala de testes e a sala de referência.



Fonte: De Nardin (2018).

O trocador de calor geotérmico instalado é formado por 4 mangueiras de polietileno de alta densidade (PEAD) em série, com uma polegada de diâmetro e 100 metros de comprimento cada uma, tendo sido enterradas sobrepostas à 5 m, 3,5 m, 2,5 m e 1,5 m de profundidade respectivamente. A mangueira enterrada a 1,5 m de profundidade não foi considerada na análise de viabilidade, pois foi inutilizada por esmagamento. Cada mangueira, após enrolada e presa por abraçadeiras plásticas para formar os loops, originou um trocador de calor de 15 metros de comprimento e 1 metro de largura, conforme Figura 15:

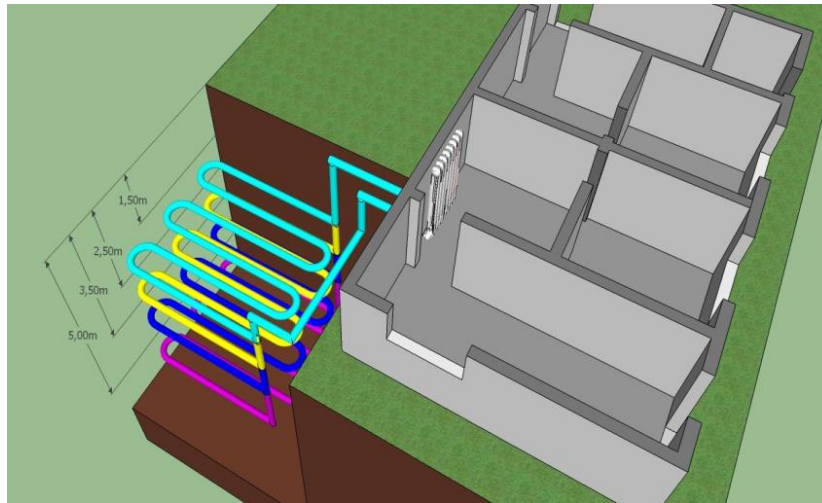
Figura 15 – Mangueira enterrada à 5 metros de profundidade.



Fonte: De Nardin (2015)

Para evitar que as mangueiras tocassem o solo e perdessem calor no retorno à superfície, foram adicionados 4 tubos de policloreto de vinila (PVC) de 50mm envolvendo-as do ponto em que se conectam ao aparelho de ar condicionado até o ponto onde ocorre as trocas térmicas com o solo. A figura 16 ilustra com maior detalhe a localização da instalação do sistema de GHSP na edificação de teste:

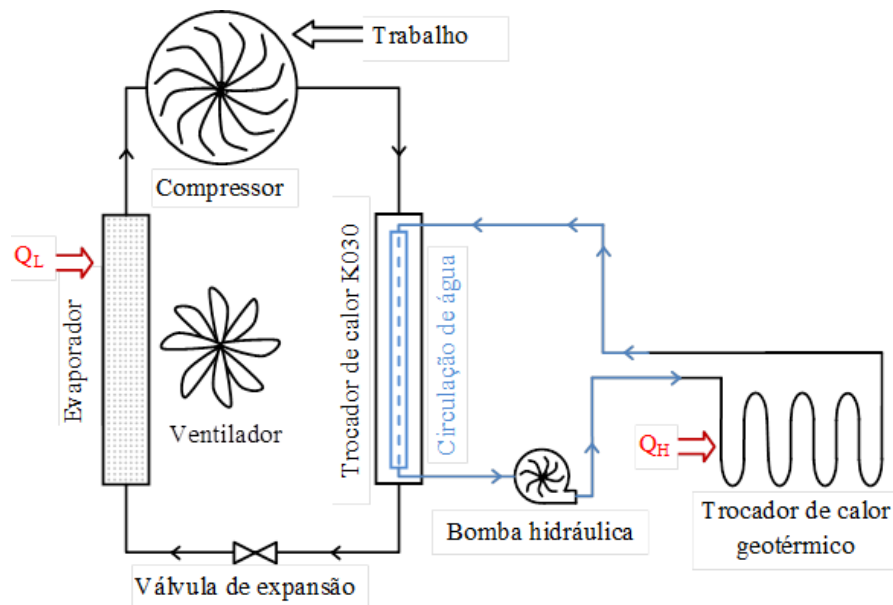
Figura 16 – Detalhe ilustrativo da localização do trocador de calor geotérmico.



Fonte: De Nardin (2015).

O funcionamento do sistema para a situação de verão se dá de acordo com a Figura 17, que será explicada em detalhes a seguir:

Figura 17 – Funcionamento do protótipo de GSHP.



Fonte: Adaptado de De Nardin (2018).

No sistema, a água circula nas mangueiras enterradas com auxílio da bomba hidráulica, trocando calor com o solo e entrando em equilíbrio com sua temperatura. Essa água passa por um trocador de calor de placas brasadas, resfriando o gás, que em seguida é

expandido ao passar pela válvula de expansão e com isso, se resfria. Ao passar pelo evaporador com baixa temperatura, o gás absorve o calor do ambiente ( $Q_L$ ). Após passar pelo evaporador o gás é sugado pelo compressor onde há um aumento na sua pressão e por consequência, ele se aquece. Depois de ser aquecido o gás passa novamente pelo trocador de calor onde é resfriado pela água, nessa etapa a água transporta o calor retirado do ambiente para o trocador de calor enterrado. O solo, por sua vez, absorve o calor da água ( $Q_H$ ) até esta entrar em equilíbrio térmico com sua temperatura. Esse ciclo se repete de forma contínua.

O fato do gás ser resfriado pela água antes de ser expandido faz com que esse atinja temperaturas ainda menores do que alcançaria no caso de um ar condicionado convencional, aumentando o coeficiente de performance do aparelho e consequentemente, sua eficiência energética. No inverno, para o caso de aquecimento, esse processo continuaria válido de forma inversa, ou seja, o gás é aquecido pela água antes de ser comprimido, fazendo com que atinja temperaturas maiores que o ar condicionado convencional trocando calor com o ar externo, que muitas vezes chega a temperaturas próximas de 0 °C. Esse detalhe faz com que o sistema de GSHP aqueça o ambiente mais rápido, implicando em uma necessidade menor de energia para o seu funcionamento. Após medições, De Nardin (2018) concluiu que o protótipo alcançou o dobro de eficiência energética em relação ao aparelho de ar condicionado convencional de mesmo modelo. Esse fato comprova o grande potencial dessa tecnologia passiva para diminuir o consumo elétrico para condicionamento térmico.

Sabendo-se que o sistema proposto é comprovadamente mais eficiente, pode-se então partir para a investigação de sua viabilidade financeira, visando concluir se a economia gerada compensa o investimento inicial mais alto.



#### 4 VIABILIDADE ECONÔMICA

Nos capítulos anteriores discutiram-se alguns aspectos técnicos dos GSHPs, e as vantagens que esse sistema pode proporcionar para conforto térmico de residências. Entretanto, a decisão pela aplicação dessa tecnologia é muito dependente da sua viabilidade econômica, especialmente quando se trata de habitações sociais. Na análise de viabilidade aqui realizada, será feita uma comparação entre o sistema de HVAC convencional e o sistema de GSHP instalado na edificação de referência. Assim, espera-se obter uma resposta sobre o tempo de retorno do investimento no protótipo de GSHP e o quanto de economia energética o mesmo proporciona até o final de sua vida útil. Esse estudo visa avaliar se os custos de operação menores de um sistema geotérmico podem compensar seu custo de investimento mais elevado para uma mesma situação de referência, e então avaliar se sua implementação é viável para habitações sociais.

As etapas dessa análise envolvem o levantamento de custos de investimento e de operação para cada sistema, além da aplicação do método VPL para avaliar a viabilidade do protótipo frente ao aparelho de ar condicionado comum. Para cálculo do VPL, é necessário se definir uma Taxa Mínima Atrativa (TMA). Foi utilizada para esse fim a taxa Selic, uma taxa de referência para análise de viabilidade de investimentos e um instrumento de política monetária utilizado pelo Banco Central para controlar a inflação.

Primeiramente será apresentada uma situação inicial de investigação, que leva em consideração a bandeira tarifária verde e a taxa Selic atual. No caso de carências na geração de energia que exijam o uso de usinas termoeletricas mais caras, seriam acionadas as bandeiras “amarelas” ou “vermelhas”, mais onerosas. Devido às variações tanto das bandeiras tarifárias quanto da taxa Selic, será realizada posteriormente uma análise de sensibilidade para dois casos: Caso A, que representa o melhor cenário possível para o uso da energia geotérmica dentro das possibilidades de manipulação de variáveis dessa pesquisa e Caso B, que representa a pior hipótese. O caso A se dá com a taxa Selic atual de 6,5% (a menor já registrada nos últimos 10 anos) e bandeira tarifária vermelha patamar 2, pois com o aumento do preço da energia elétrica a economia gerada por meio da eficiência do sistema GSHP é otimizada. O caso B se dá quando a bandeira tarifária é verde e a taxa Selic é elevada. Para essa situação foi adotado o valor de agosto de 2016 de 14,25%, o mais alto dos últimos 10 anos conforme Banco Central do Brasil (2019).

#### 4.1 LEVANTAMENTO DOS CUSTOS DE INVESTIMENTO

Inicialmente, se realizou um levantamento dos custos de investimento de cada sistema, o que inclui a compra de produtos, mão de obra, acessórios e instalação. Os custos de materiais e serviços foram pesquisados na internet, procurando-se apresentar o valor de um produto idêntico ou similar ao utilizado na edificação de referência, conforme quadro 3.

Quadro 3 – Comparação da estimativa de custos de investimento de ASHP e GSHP para edificação de referência.

<b>Sistema</b>	<b>HVAC</b>	<b>GSHP</b>
A/C de Janela 7500 btu/h <sup>1</sup>	R\$ 911,05	R\$ 911,05
Instalação de A/C <sup>2</sup>	R\$ 300,00	R\$ 300,00
Mangueira PEAD 1” 300m <sup>3</sup>	-	R\$ 585,00
Bomba Hidráulica <sup>4</sup>	-	R\$ 460,80
Locação Retroescavadeira (2h) <sup>5</sup>	-	R\$ 200,00
Trocador de Calor modelo K030 <sup>6</sup>	-	R\$ 500,00
Tubo de PVC 50mm (17m) <sup>7</sup>	-	R\$ 107,00
Joelho 90° 50mm (6 unidades) <sup>8</sup>	-	R\$ 12,54
Abraçadeiras plásticas <sup>9</sup>	-	R\$ 8,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 1.211,05</b>	<b>R\$ 3.084,39</b>

Fonte: A autora.

<sup>1</sup> Lojas Americanas, 2019.

<sup>2</sup> Split Santa Maria, 2019.

<sup>3</sup> Mercado Livre, 2019.

<sup>4</sup> Equinautic, 2019.

<sup>5</sup> Engecol Engenharia Corrêa Leite Ltda, 2019.

<sup>6</sup> Lojas Apema, 2019.

<sup>7</sup> Leroy Merlin, 2019.

<sup>8</sup> Leroy Merlin, 2019.

<sup>9</sup> Amazon, 2019.

## 4.2 LEVANTAMENTO DOS CUSTOS DE OPERAÇÃO

Com os custos de investimento em mãos, partiu-se para o levantamento dos custos de operação, calculados de acordo com o preço da energia elétrica e com a eficiência de cada sistema. A variação dos custos da energia não foi levada em consideração nesse estudo, devido à sua complexidade de previsão. Os dois sistemas de condicionamento térmico são alimentados pela fornecedora de energia elétrica em Santa Maria, a RGE Sul. A tarifa cobrada pela empresa para o setor residencial era de R\$0,853/kWh em abril de 2019, para bandeira verde e com os impostos já incluídos. Para se chegar ao valor de tarifa mensal para cada sistema, partiu-se do consumo energético mensal e do período necessário de utilização para se atingir e manter uma temperatura agradável no ambiente de teste. Segundo medições de De Nardin (2018) para a edificação de referência, o consumo de energia elétrica requerida pelo aparelho de ar condicionado convencional resultou em 0,634 Quilowatt-hora (kWh), enquanto que o sistema de GSHP consumiu uma média de 0,553 kWh no inverno e 0,583 kWh no verão. Esse resultado é obtido somando-se o consumo do compressor, do ventilador e da bomba, conforme tabela 1:

Tabela 1 – Consumo de energia elétrica por equipamento, em uma hora.

Equipamento	Tensão (V)	Corrente (A)	Cosφ	Pot. reativa (VAr)	Pot. ativa (W)
Ar condicionado	214,4	3	0,992	81,2	634,4
Compressor	213,7	1,94	0,998	20,9	414,6
Ventilador	212,9	0,3	0,999	0	64
Bomba verão	16,15	6,5	-	-	105
Bomba inverno	15,18	4,94	-	-	75

Fonte: Adaptado de De Nardin (2018).

Para o cálculo do consumo energético considerou-se que as famílias utilizem os condicionadores de ar durante os quatro meses de estação quente para resfriamento (de 18 de novembro à 22 de março) e durante os três meses de estação fria para aquecimento (20 de maio à 16 de agosto), seguindo os dados do site Weather Spark (2019). Conforme cálculos de De Nardin (2018), a eficiência do sistema de GSHP implantado resultou em 6,06, enquanto que para o ar condicionado comum foi de 2,92. Como o GSHP apresenta o dobro da

eficiência em relação ao aparelho de ar condicionado, conseguirá manter o mesmo conforto térmico com menos tempo em funcionamento. Por isso foi considerado um uso médio de 8 horas diárias para o ar condicionado convencional e 4 horas diárias para o GSHP. Em uma situação real, não se utilizaria necessariamente o ar condicionado todos os dias da estação quente e fria, e o aparelho não ficaria ligado obrigatoriamente por 8 horas diárias. O tempo de uso do equipamento é algo intimamente relacionado à percepção de conforto térmico de cada indivíduo sendo, portanto um dado variável de acordo com o usuário. Para facilitação do estudo foram adotadas essas simplificações, e o consumo mensal dos dois sistemas para esse caso é demonstrado por meio da tabela 2:

Tabela 2 – Comparação de consumo energético mensal entre o ar condicionado convencional e o sistema GSHP.

Custos Operacionais				
	HVAC		GSHP	
	kwh	R\$	kwh	R\$
Janeiro	157,33	134,20	72,29	61,67
Fevereiro	142,11	121,22	65,30	55,70
Março	111,65	95,24	51,30	43,76
Abril	-	-	-	-
Mai	60,90	51,95	26,54	22,64
Junho	152,26	129,87	66,36	56,61
Julho	157,33	134,20	68,57	58,49
Agosto	81,20	69,27	35,39	30,19
Setembro	-	-	-	-
Outubro	-	-	-	-
Novembro	65,98	56,28	30,32	25,86
Dezembro	157,33	134,20	72,29	61,67
Total	1086,09	926,44	488,37	416,58

Fonte: A autora.

#### 4.3 ESTIMATIVA DO TEMPO DE RETORNO E DO LUCRO NO FINAL DA VIDA ÚTIL PELO MÉTODO VPL

Para se calcular o tempo de retorno e a economia gerada com o uso de GSHPs ao longo do tempo, utilizou-se o VPL, um dos métodos mais empregados para a avaliação

econômica de investimentos, pois leva em consideração a variação do valor do dinheiro no tempo. A expressão geral do VPL é dada pela equação 1:

$$VPL = \sum_{n=1}^N \frac{Rn - Cn}{(1+i)^N} + \frac{SN}{(1+i)^N} - Io \quad (1)$$

Onde:

Io: o investimento inicial associado ao projeto;

Rn: entradas de caixa esperadas durante “n” períodos de operação do projeto;

Cn: os custos de produção esperados durante “n” períodos de operação do projeto;

N: a vida útil do projeto;

SN: o valor residual do investimento ao final de sua vida útil;

i: a taxa mínima atrativa (TMA).

Uma vez que os sistemas apresentam disparidade tanto no valor do capital investido quanto nos custos de operação, a comparação entre eles não é direta. Para resolver este problema foi aplicada uma reformulação do método, que consiste em calcular o VPL da diferença entre os dois sistemas e verificar quando ele se torna positivo, o que indica a vantagem do uso de GSHPs. O período em que isso ocorre indica o tempo de retorno de investimento e o VPL no final da vida útil indica o total em dinheiro economizado devido ao menor consumo energético. Também se excluiu a parte da equação que leva em consideração o valor residual do investimento, dadas as dificuldades em estimá-lo e de adicionar mais incertezas no estudo. Portanto a fórmula utilizada se resume na equação 2:

$$VPL = \sum_{n=1}^N \frac{Rn}{(1+i)^N} - Io \quad (2)$$

Onde:

Io: a diferença entre o investimento no sistema GSHP e no ar condicionado comum;

Rn: a diferença dos custos operacionais do ar condicionado comum e do GSHP em um ano;

N: a vida útil do projeto;

i: a taxa mínima atrativa (TMA).

Visto que não é possível estimar a quantidade de tempo que o cliente irá manter o sistema implementado, decidiu-se adotar como padrão a vida útil de projeto (VUP) para condicionadores de ar estabelecida pela NBR 15.575, conforme quadro 4. O quadro apresenta um valor de vida útil variando entre 8 e 12 anos, tendo sido adotado o valor médio de 10 anos.

Quadro 4 – Vida Útil de Projeto para condicionadores de ar de acordo com a NBR 15.575.

Parte da Edificação	Exemplos	VUP anos		
		M	I	S
Equipamentos funcionais manutíveis e substituíveis (médio custo de manutenção)	Equipamentos de recalque, pressurização, aquecimento de água, condicionamento de ar, filtragem, combate a incêndio e outros.	≥8	≥10	≥12

Fonte: Adaptado de Mereb ([20--]).

Como TMA para essa situação inicial, foi adotada a taxa anual Selic para maio de 2019, de 6,50%, segundo dados do Banco Central (2019). Com todas as variáveis definidas, torna-se possível o cálculo do VPL, que pode ser observado abaixo através da tabela 3:

Tabela 3 – VPL da diferença entre o aparelho de ar condicionado tradicional e o protótipo de GSHP para bandeira tarifária verde e taxa Selic 6,5%.

VPL da economia do GSHP			
Período	Receita	VP	ΣVP
0	-R\$ 1.873,34	-R\$ 1.873,34	-R\$ 1.873,34
1	R\$ 509,86	R\$ 478,74	-R\$ 1.394,60
2	R\$ 509,86	R\$ 449,52	-R\$ 945,08
3	R\$ 509,86	R\$ 422,09	-R\$ 522,99
4	R\$ 509,86	R\$ 396,33	-R\$ 126,66
5	R\$ 509,86	R\$ 372,14	R\$ 245,47
6	R\$ 509,86	R\$ 349,42	R\$ 594,90
7	R\$ 509,86	R\$ 328,10	R\$ 922,99
8	R\$ 509,86	R\$ 308,07	R\$ 1.231,07
9	R\$ 509,86	R\$ 289,27	R\$ 1.520,34
10	R\$ 509,86	R\$ 271,62	R\$ 1.791,95
i=	6,5	% ao ano	

Fonte: A autora (2019).

A partir da tabela, observa-se que no primeiro ano de investimento o valor da receita é apenas o custo de investimento do sistema de GSHP descontado do custo de investimento do aparelho de ar condicionado. As receitas anuais são os custos operacionais do sistema GHSP descontados os custos operacionais do ar condicionado convencional, ou seja, a economia energética de um sistema em relação ao outro. Observa-se que esse valor é reduzido com o passar dos anos devido à TMA, e que no ano 5 o somatório do VPL se torna positivo, o que indica que o investimento foi pago e começa a gerar retorno, ou seja, o tempo de payback do investimento é de 5 anos. Ao final de 10 anos de uso, verifica-se que a economia gerada pela maior eficiência energética do protótipo já alcança R\$1.791,95, um resultado muito positivo.

#### 4.3 ANÁLISE DE SENSITIVIDADE

A título de comparação foi realizada uma análise de sensibilidade considerando-se a variação da bandeira tarifária e da taxa Selic anual, visando concluir se mesmo no pior cenário possível (dentro das limitações de manipulação de variáveis desse estudo) o sistema de GSHP ainda continua viável. Segundo dados da CPFL Energia S/A (2019), há um aumento em relação à bandeira verde de R\$0,015/kWh para bandeira amarela, R\$0,04/kWh para bandeira vermelha patamar 1 e R\$0,06/kWh para bandeira vermelha patamar 2. Ao se repetir todo o processo descrito anteriormente para o melhor e pior cenário (Casos A e B), obtêm-se os resultados expostos na Tabela 4.

Observa-se que para o Caso A, mantendo-se a taxa Selic mais baixa e aumentando a bandeira tarifária, não ocorreram mudanças muito significativas. O tempo de retorno do investimento continuou sendo de 5 anos e o aumento do lucro final foi de 14,38%. Em contrapartida, para o cenário B, observa-se um aumento do tempo de retorno, que passa a ser de 6 anos e o lucro final sofre uma redução de 57,56%. Mesmo assim, o VPL comprova que até no pior cenário analisado o protótipo de GSHP mostra-se mais vantajoso que o aparelho de ar condicionado convencional, apresentando um payback em poucos anos de uso.

Tabela 4 – VPL da diferença entre o aparelho de ar condicionado tradicional e o protótipo de GSHP para os Casos A e B.

<b>CASO A: BANDEIRA VERMELHA PATAMAR 2 E SELIC 6,5%</b>								
Custos Operacionais					VPL da economia do GSHP			
	HVAC		GSHP		Período	Receita	VP	ΣVP
	kwh	R\$	kwh	R\$				
Janeiro	157,33	143,64	72,29	66,00	0	-R\$ 1.873,34	-R\$ 1.873,34	-R\$ 1.873,34
Fevereiro	142,11	129,74	65,30	59,62	1	R\$ 545,72	R\$ 512,42	-R\$ 1.360,92
Março	111,65	101,94	51,30	46,84	2	R\$ 545,72	R\$ 481,14	-R\$ 879,78
Abril	-	-	-	-	3	R\$ 545,72	R\$ 451,78	-R\$ 428,01
Mai	60,90	55,60	26,54	24,23	4	R\$ 545,72	R\$ 424,20	-R\$ 3,80
Junho	152,26	139,01	66,36	60,59	5	R\$ 545,72	R\$ 398,31	R\$ 394,51
Julho	157,33	143,64	68,57	62,61	6	R\$ 545,72	R\$ 374,00	R\$ 768,51
Agosto	81,20	74,14	35,39	32,31	7	R\$ 545,72	R\$ 351,18	R\$ 1.119,69
Setembro	-	-	-	-	8	R\$ 545,72	R\$ 329,74	R\$ 1.449,43
Outubro	-	-	-	-	9	R\$ 545,72	R\$ 309,62	R\$ 1.759,05
Novembro	65,98	60,24	30,32	27,68	10	R\$ 545,72	R\$ 290,72	R\$ 2.049,77
Dezembro	157,33	143,64	72,29	66,00				
Total	1086,09	991,60	488,37	445,88	i=	6,5		% ao ano

<b>CASO B: BANDEIRA VERDE E SELIC 14,25%</b>								
Custos Operacionais					VPL da economia do GSHP			
	HVAC		GSHP		Período	Receita	VP	ΣVP
	kwh	R\$	kwh	R\$				
Janeiro	157,33	134,20	72,29	61,67	0	-R\$ 1.873,34	-R\$ 1.873,34	-R\$ 1.873,34
Fevereiro	142,11	121,22	65,30	55,70	1	R\$ 509,86	R\$ 446,27	-R\$ 1.427,07
Março	111,65	95,24	51,30	43,76	2	R\$ 509,86	R\$ 390,61	-R\$ 1.036,47
Abril	-	-	-	-	3	R\$ 509,86	R\$ 341,89	-R\$ 694,58
Mai	60,90	51,95	26,54	22,64	4	R\$ 509,86	R\$ 299,24	-R\$ 395,34
Junho	152,26	129,87	66,36	56,61	5	R\$ 509,86	R\$ 261,92	-R\$ 133,42
Julho	157,33	134,20	68,57	58,49	6	R\$ 509,86	R\$ 229,25	R\$ 95,83
Agosto	81,20	69,27	35,39	30,19	7	R\$ 509,86	R\$ 200,66	R\$ 296,49
Setembro	-	-	-	-	8	R\$ 509,86	R\$ 175,63	R\$ 472,12
Outubro	-	-	-	-	9	R\$ 509,86	R\$ 153,72	R\$ 625,85
Novembro	65,98	56,28	30,32	25,86	10	R\$ 509,86	R\$ 134,55	R\$ 760,40
Dezembro	157,33	134,20	72,29	61,67				
Total	1086,09	926,44	488,37	416,58	i=	14,25		% ao ano

Fonte: A autora (2019).



## 5 CONCLUSÃO

### 5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca por soluções ecologicamente corretas, economicamente viáveis e socialmente íntegras têm nos levado a inovações verdadeiramente promissoras no ramo tecnológico. A preocupação tem deixado de ser o lucro individual e vem passando a ser o ganho coletivo.

Conforme Barcelos (2018, apud Bodach e Hamhaber, 2010), as barreiras que prejudicam o avanço em direção a uma maior eficiência energética em habitações de interesse social no Brasil são derivadas de uma combinação de vários fatores: elevados custos de investimento, baixa consciência quanto a novas alternativas, baixa capacitação da mão de obra e uma indústria atrasada em relação à adoção de tecnologias sustentáveis. A iniciativa para superar esses obstáculos precisa partir dos profissionais atuantes na área da construção, como arquitetos, engenheiros e pesquisadores que devem assumir a posição de vanguarda no movimento de tecnologias verdes e energia limpa. A sustentabilidade, porém, é um campo que ainda recebe pouca atenção na formação acadêmica desses profissionais, e somente muito recentemente esses princípios começaram a entrar no currículo das universidades.

O século XXI chegou trazendo grandes desafios à humanidade, com um paradigma de mudança que requer prudência, mas ao mesmo tempo oferece novas oportunidades. A inovação na indústria se torna necessária na medida em que o planeta Terra perpassa um momento decisivo em seu processo de existência. O setor da construção civil não pode continuar sendo produzido e planejado sem que haja um compromisso com o bem-estar e a sustentabilidade da vida como um todo. É necessário o olhar para a natureza, buscando e conectando soluções integradas, que incluam a indústria, os usuários e a Terra em uma só comunidade colaborativa. O futuro requer uma revolução no setor da construção para atender às demandas de mudança na maneira de projetar, construir e operar edificações, sendo a eficiência energética uma ferramenta potente para se atingir a sustentabilidade, reduzindo custos e o impacto negativo no planeta.

A partir da discussão levantada nessa pesquisa e por meio dos resultados obtidos, conclui-se que o uso de bombas de calor geotérmicas para condicionamento térmico de edificações é uma alternativa economicamente, socialmente e ambientalmente viável ao aparelho de ar condicionado convencional. A análise de viabilidade comprovou que o valor total dos custos de investimento para o protótipo quase contemplou o valor máximo estipulado pela portaria nº 643 do Ministério das Cidades para instalação de sistema

alternativo de geração de energia em residências. Essa portaria estipula que se deve considerar a elevação máxima do valor de aquisição das unidades habitacionais em até R\$ 3.000,00 (três mil reais), sendo que o sistema utilizado ultrapassou em apenas R\$84,39 esse valor. É importante lembrar que essa análise se deu para uma versão em protótipo, e que se caso essa tecnologia fosse efetivamente adotada pelo Governo e implementada em grande escala os custos seriam minimizados.

Uma observação importante é considerar que esses R\$3000,00 definidos pela portaria eram estipulados para uso da energia solar para aquecimento da água de chuveiros elétricos, utensílio que demanda grande consumo energético em residências. Entretanto, o ar condicionado ultrapassa de longe o gasto energético do chuveiro, e não foi apresentada nenhuma alternativa da portaria para esse dispositivo. Isso ocorre em parte porque a população que engloba a faixa 1 do Programa Minha Casa Minha Vida em sua maioria não dispõe de condições econômicas para possuir esses aparelhos instalados. Nesse sentido, um incentivo governamental para uso de GSHPs iria auxiliar tanto na questão ambiental, com a eficiência energética do sistema, quanto na questão social, facilitando pela primeira vez o acesso dessas famílias a um dispositivo de conforto térmico.

A variação do valor da energia elétrica, das bandeiras tarifárias e da taxa Selic são fatores que podem interferir na viabilidade do sistema. Porém como visto na análise de sensibilidade, o sistema teve um payback em pouquíssimos anos de uso até para a pior situação possível analisada, tornando sua inviabilidade algo pouco provável.

## 5.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Para simulações mais realistas, seria essencial uma análise mais detalhada que incluísse as variações mensais das tarifas energéticas, das bandeiras tarifárias e da taxa Selic, o que é impossível de se realizar sem a utilização de um software. Esse estudo envolveria a manipulação de múltiplas variáveis simultaneamente, resultando em vários casos possíveis e mais alinhados com a realidade.

Um estudo que quantificasse o número de dias e o total de horas de uso do ar condicionado ao longo do ano seria valioso para obtenção de resultados mais precisos sobre o consumo energético, e conseqüentemente da viabilidade do protótipo.

Outra contribuição relevante seria um estudo similar ao realizado, mas voltado à análise de custos em um condomínio de caráter social como um todo, levando-se em conta a

economia do valor dos serviços gerada pela implementação em grande quantidade. Uma análise orientada a consumidores maiores, como escolas, hospitais ou edifícios de escritórios também seria interessante para se ter conclusões melhor fundamentadas sobre a viabilidade da tecnologia em diferentes contextos e suas particularidades de implementação para cada caso.

Por fim, a elaboração de um método de avaliação mais avançado do que o desenvolvido neste trabalho, com o auxílio de softwares, poderia levar a criação de uma tabela automatizada para cálculos de viabilidade econômica para GSHPs, o que certamente se tornaria uma ferramenta valiosa para a adoção dessa tecnologia passiva em projetos e para facilitar a disseminação mais rápida desse sistema no mercado.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEL, D. W. et al. **Air-quality-related health impacts from climate change and from adaptation of cooling demand for buildings in the eastern United States: An interdisciplinary modeling study.** Plos Medicine, [s.l.], v. 15, n. 7, p.1-27, 3 jul. 2018. Public Library of Science (PLoS). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pmed.1002599>.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-3:2005 – Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** São Paulo, 2013.

AMAZON. **Abraçadeira de Nylon 3mm x 100mm Preta com 100 Unidades MD9.** 2019. Disponível em: <[https://www.amazon.com.br/Abra%C3%A7adeira-Nylon-100mm-Preta-Unidades/dp/B076J14RNL?tag=goog0ef-20&smid=A55V89QWJAAUS&ascsubtag=go\\_1676964938\\_67796570520\\_325220716474\\_pla-705919749497\\_c\\_](https://www.amazon.com.br/Abra%C3%A7adeira-Nylon-100mm-Preta-Unidades/dp/B076J14RNL?tag=goog0ef-20&smid=A55V89QWJAAUS&ascsubtag=go_1676964938_67796570520_325220716474_pla-705919749497_c_)>. Acesso em: 26 maio 2019.

AMPARO, S. **Sobre a organização espacial dos Kaingáng, uma sociedade indígena Jê meridional.** 2010. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

ARANTES, B. **Análise do conforto térmico e lumínico de uma oficina mecânica.** Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2011.

ARANTES, B. **Conforto térmico em habitações de interesse social – Um estudo de caso.** 2012. 99f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2011.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (Brasil). **Taxas de juros básicas: Histórico.** 2019. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

BARCELOS, R. H. **Viabilidade técnica e econômica do condicionamento geotérmico de edificações no Rio Grande do Sul.** 2018. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BENYUS, J. M. A. **Biomimicry Primer.** 2016. Disponível em: <[https://biomimicry.net/b38files/A\\_Biomimicry\\_Primer\\_Janine\\_Benyus.pdf](https://biomimicry.net/b38files/A_Biomimicry_Primer_Janine_Benyus.pdf)>. Acesso em: 15 maio 2019.

BRAGA, R. C. Q.; NASCIMENTO, D. M. **Déficit habitacional: um problema a ser resolvido ou uma lição a ser aprendida?** Risco: revista de pesquisa em arquitetura e urbanismo, São Paulo, n. 9, p.98-109, jan. 2009.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Portaria nº 269 de 22 de março de 2017**, 2017a. 18 p. Disponível em: <[http://www.cohapar.pr.gov.br/arquivos/File/Portal\\_de\\_Programas/PORT\\_269\\_de\\_220317\\_e\\_especificacao\\_do\\_FAR\\_e\\_FDS\\_consolidada\\_ate\\_1502.pdf](http://www.cohapar.pr.gov.br/arquivos/File/Portal_de_Programas/PORT_269_de_220317_e_especificacao_do_FAR_e_FDS_consolidada_ate_1502.pdf)>. Acesso em: 02 jun. 2019.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Portaria nº 643 de 13 de novembro de 2017**, 2017b. Disponível em: <[http://www.lex.com.br/legis\\_27547383\\_PORTARIA\\_N\\_643\\_DE\\_13\\_DE\\_NOVEMBRO\\_DE\\_2017.aspx](http://www.lex.com.br/legis_27547383_PORTARIA_N_643_DE_13_DE_NOVEMBRO_DE_2017.aspx)>. Acesso em: 02 jun. 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia Mme/spe. **Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética**. Brasília, 2018. 41 p. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT%20EPE%20030\\_2018\\_18Dez2018.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT%20EPE%20030_2018_18Dez2018.pdf)>. Acesso em: 04 mai. 2019.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Cartilha do PMCMV**. Disponível em: <<http://www.ademi.org.br/docs/CartilhaCaixa.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

CPFL ENERGIA S.A. **Bandeiras Tarifárias**. 2019. Disponível em: <<https://www.cpfl.com.br/atendimento-a-consumidores/bandeira-tarifaria/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 14 jun. 2019.

D'ANGELIS, W. R.; VEIGA, J. **Habitação e Acampamentos Kaingang hoje e no passado**. Cadernos do Ceom, Chapecó, n. 18, p.213-242, 2003. Disponível em: <[http://www.portalkaingang.org/habitacao\\_e\\_acampamentos.pdf](http://www.portalkaingang.org/habitacao_e_acampamentos.pdf)>. Acesso em: 13 mai. 2019.

DELAQUA, V. **Casa Edgeland / Bercy Chen Studio**. 2013. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/01-100792/casa-edgeland-slash-bercy-chen-studio>>. Acesso em: 15 maio 2019.

DE NARDIN, C. R. **Estudo comparativo entre o condicionamento de ar geotérmico e o convencional e suas perspectivas para o sistema elétrico nacional**. 2015. 171 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

DE NARDIN, C. R. **Aproveitamento da energia geotérmica superficial para aumentar a eficiência de condicionadores de ar e reduzir o pico de demanda**. 2018. 165 p. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

ENGEVOL ENGENHARIA CORRÊA LEITE LTDA (Santa Maria). **Retro Escavadeira 580L**. 2019. Disponível em: <<http://www.engecol-pa.com.br/produtos/categorias/1353853967737831>>. Acesso em: 26 maio 2019.

EQUINAUTIC. **BOMBA PRESSURIZADORA DE ÁGUA 1.1 GPM AUTOMÁTICA**. 2019. Disponível em: <<http://www.equinautic.com.br/hidraulica/bombas-d-agua-e-pessostatos/bomba-pressurizadora/bomba-pressurizadora-de-agua-1-1-gpm-automatica.html>>. Acesso em: 26 maio 2019.

HUMPHREYS, M.; NICOL, F.; RAJA, I. **Field Studies of Indoor Thermal Comfort and the Progress of the Adaptive Approach**. Advances In Building Energy Research, v. 1, p.55-88, jan. 2007.

IEA [International Energy Agency]. **The Future of Cooling: Opportunities for energy-efficient air conditioning**. OECD/IEA: Paris, 2018.

LAMBERTS, R. et al. **Desempenho Térmico de Edificações**. Florianópolis : Apostila – Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

LEROY MERLIN. **Cano PVC para Esgoto 50mm ou 2" 3m Equation**. 2019. Disponível em: <[https://www.leroymerlin.com.br/cano-pvc-para-esgoto-50mm-ou-2-3m-equation\\_89363533?region=grande\\_sao\\_paulo&gclid=Cj0KCQjwz6PnBRCPARIsANOtCw2qOPYfdaBunSarcMF0TcZw3z7zJzZyrsdyqTOKGKWU0EDvJddxVEIaAnt5EALw\\_wcB](https://www.leroymerlin.com.br/cano-pvc-para-esgoto-50mm-ou-2-3m-equation_89363533?region=grande_sao_paulo&gclid=Cj0KCQjwz6PnBRCPARIsANOtCw2qOPYfdaBunSarcMF0TcZw3z7zJzZyrsdyqTOKGKWU0EDvJddxVEIaAnt5EALw_wcB)>. Acesso em: 26 maio 2019.

LEROY MERLIN. **Joelho 90° PVC para Esgoto 50mm ou 2" Plastilit**. 2019. Disponível em: <[https://www.leroymerlin.com.br/joelho-90o-pvc-para-esgoto-50mm-ou-2-plastilit\\_87958213](https://www.leroymerlin.com.br/joelho-90o-pvc-para-esgoto-50mm-ou-2-plastilit_87958213)>. Acesso em: 26 maio 2019.

LIMA, R. G. **A influência do sombreamento e da absortância da envoltória no desempenho termoenergético de edifícios na cidade de Maceió – AL**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, 2010.

LOJAS AMERICANAS. **Ar Condicionado De Janela 7.500 Btus Frio - Mecânico Rotativo - (Classe A) - 220V**. 2019. Disponível em: <[https://www.americanas.com.br/produto/120211865/ar-condicionado-de-janela-consul-ccf07-7-500-btus-frio-mecanico?WT.srch=1&acc=e789ea56094489dff798f86ff51c7a9&epar=bp\\_pl\\_00\\_go\\_aa\\_to\\_das\\_geral\\_gmv&gclid=Cj0KCQjwz6PnBRCPARIsANOtCw1\\_X59nvrML7BbS9r3xUy-C0JKeKa0Bk3wCQCnj1Lxvi3DxEG42LggaAtRPEALw\\_wcB&i=57f32c6feec3dfb1f8f220da&o=55ced8be9c3238c7d1b8c1d3&opn=YSMESP&sellerId=17586530000166&voltagem=220%20volts](https://www.americanas.com.br/produto/120211865/ar-condicionado-de-janela-consul-ccf07-7-500-btus-frio-mecanico?WT.srch=1&acc=e789ea56094489dff798f86ff51c7a9&epar=bp_pl_00_go_aa_to_das_geral_gmv&gclid=Cj0KCQjwz6PnBRCPARIsANOtCw1_X59nvrML7BbS9r3xUy-C0JKeKa0Bk3wCQCnj1Lxvi3DxEG42LggaAtRPEALw_wcB&i=57f32c6feec3dfb1f8f220da&o=55ced8be9c3238c7d1b8c1d3&opn=YSMESP&sellerId=17586530000166&voltagem=220%20volts)>. Acesso em: 26 maio 2019.

LOJAS APEMA. **Trocadores de calor a Placas Brasadas**. 2019. Disponível em: <<http://www.apema.com.br/produtos-detalhes/placas-brasadas/?fbclid=IwAR0miXTVNP6HZhacZD4ORarHau26R0SAg26nTtiHItni9k9O4rrS-mUaeyQ>>. Acesso em: 26 maio 2019.

LONGO, A. J. et al. **Instrumentation for surface geothermal data acquisition aiming at sustainable heat exchangers**. In: Industrial Electronics Society, IECON 2014-40th Annual Conference of the IEEE. IEEE, 2014. p. 2164-2138.

MERCADO LIVRE. **Mangueira Irrigação Pead Reforçada 1 Pol X 2,5mm 100 Metros**. 2019. Disponível em: <[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1048008945-mangueira-irrigacao-pead-reforcada-1-pol-x-25mm-100-metros-\\_JM?quantity=1](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1048008945-mangueira-irrigacao-pead-reforcada-1-pol-x-25mm-100-metros-_JM?quantity=1)>. Acesso em: 26 maio 2019.

MEREB, M. P. Grupo de Trabalho de Normas – Gt Normas Asbea (Org.). **Guia para arquitetos na aplicação da norma de desempenho ABNT NBR 15.575**. [s.i]: Concelho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil, [20--]. 54 p. Disponível em: <[https://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2015/09/2\\_guia\\_normas\\_final.pdf](https://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2015/09/2_guia_normas_final.pdf)>. Acesso em: 23 maio 2019.

MENEZES, M. S. **Avaliação do Desempenho Térmico de Habitações Sociais de Passo Fundo - RS**. 2006. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006. Disponível em: <<http://tede.upf.br/jspui/handle/tede/211>>. Acesso em: 01 mai. 2019.

MULTIPLICA.ORG. **Casas subterrâneas do povo Kaingang**. mar. 2016. Disponível em: <<http://multiplica.org/subterraneas-do-povo-kanghag/>>. Acesso em: 13 maio 2019.

NICOL, F.; HUMPHREYS, M. **Adaptive Thermal Comfort and Sustainable Thermal Standards for Buildings**. Energy and Buildings, p. 45-59, jul. 2002.

REES, S J. **An introduction to ground-source heat pump technology**. Advances In Ground-source Heat Pump Systems. Leeds, United Kingdom, p. 1-25. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081003114000017>>. Acesso em: 22 maio 2019.

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

SAPORITO, J. T. **Análise do Programa Minha Casa Minha Vida para empreendimentos voltados para famílias classificadas na faixa 1 do programa**. 2015. 117 f. Monografia (Especialização) - Curso de Economia Setorial e Mercados, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

SERRADOR, M. E. **Sustentabilidade em arquitetura: referências para projeto**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008.

SHAH, N. et al. **Benefits of Leapfrogging to Superefficiency and Low Global Warming Potential Refrigerants in Room Air Conditioning**. Berkeley: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2015.

SIMÕES, G. M. F. **Conforto e adaptação espacial e individual em conjuntos habitacionais de interesse social: Estudo em João Pessoa-PB.** 2018. 190 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

SPLIT SANTA MARIA (Santa Maria). **Instalação de split.** 2019. Disponível em: <<http://www.splitsantamaria.com.br/>>. Acesso em: 26 maio 2019.

TORRES, D. R. **Estudo da viabilidade económica da geotermia como solução energética para climatização e aquecimento de águas sanitárias em Portugal.** 2017. Dissertação (Mestrado) – Engenharia e Gestão Industrial, Universidade do Porto, Porto, 2017.

VALLE, F. **Saiba quais são os aparelhos vilões da conta e como consumir menos energia.** 2017. Disponível em: <<https://revista.zapimoveis.com.br/saiba-quais-sao-os-aparelhos-viloes-da-conta-e-como-consumir-menos-energia/>>. Acesso em: 21 jun. 2019.

VELDERS, G. J. M. et al. **Preserving Montreal Protocol Climate Benefits by Limiting HFCs.** Science, [s.l.], v. 335, n. 6071, p.922-923, 23 fev. 2012. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.1216414>.

XAVIER, A. A. de P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis.** 1999. 209 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

WEATHER SPARK. **Condições meteorológicas médias de Santa Maria.** Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/29563/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Santa-Maria-Brasil-durante-o-ano>>. Acesso em: 05 jun. 2019.

WU, R. **Energy Efficiency Technologies: Air Source Heat Pump vs. Ground Source Heat Pump.** Journal Of Sustainable Development. Victoria, Australia, p. 14-23. jul. 2009.