

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**GILBERT RORIZ PONTES**

**VINÍCIUS GONÇALVES RIBEIRO**

**SISTEMA DE CONDICIONAMENTO TÉRMICO POR TUBOS  
ENTERRADOS EM GOIÁS – *EARTH TUBES***

**ANÁPOLIS / GO**

**2018**

**GILBERT RORIZ PONTES**  
**VINÍCIUS GONÇALVES RIBEIRO**

**SISTEMA DE CONDICIONAMENTO TÉRMICO POR TUBOS**  
**ENTERRADOS EM GOIÁS – *EARTH TUBES***

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADOROR: FILIPE GARCIA FONSECA**

**ANÁPOLIS / GO: 2018**

## FICHA CATALOGRÁFICA

PONTES, GILBERT RORIZ/ RIBEIRO, VINICIUS GONÇALVES

Sistema de Condicionamento Térmico por Tubos Enterrados em Goiás

72 p, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Tubos Enterrados

2. Earth Tubes

3. Solo

4. Temperatura

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PONTES, Gilbert Roriz; RIBEIRO, Vinícius Gonçalves. Sistema de Condicionamento Térmico por Tubos Enterrados em Goiás. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 72 p. 2018.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Gilbert Roriz Pontes

Vinícius Gonçalves Ribeiro

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Sistema de Condicionamento Térmico por Tubos Enterrados em Goiás.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

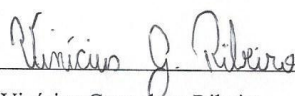
ANO: 2018

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Gilbert Roriz Pontes

E-mail: gilbertroriz@hotmail.com



Vinícius Gonçalves Ribeiro

E-mail: vinicius\_gr18@outlook.com

**GILBERT RORIZ PONTES**  
**VINÍCIUS GONÇALVES RIBEIRO**

**SISTEMA DE CONDICIONAMENTO TÉRMICO POR TUBOS  
ENTERRADOS EM GOIÁS – *EARTH TUBES***

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL

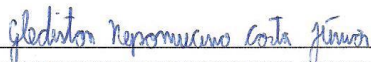
APROVADO POR:



\_\_\_\_\_  
FILIPE GARCIA FONSECA, Especialista (UniEvangélica)  
ORIENTADOR



\_\_\_\_\_  
ISA LORENA SILVA BARBOSA, Mestra (UniEvangélica)  
EXAMINADORA INTERNA



\_\_\_\_\_  
GLEDISTON NEPOMUCENO COSTA JÚNIOR, Mestre (UniEvangélica)  
EXAMINADOR INTERNO

DATA: ANÁPOLIS/GO, 05 de junho de 2018.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por ter me presenteado com o dom da vida e por dar sabedoria aos meus pais para me guiarem sempre por caminhos retos. Aos meus pais também agradeço pela perseverança, pela garra e, principalmente, por todas as vezes que se sacrificaram em prol da nossa família e dos meus estudos.

Agradeço à minha esposa Marielle pelo companheirismo, dedicação e pela compreensão que teve durante os longos cinco anos que estive de certa forma ausente com a nossa família. Com sua maestria ímpar, conduziu de forma ilibada o nosso lar, vindo minimizar ao máximo minha ausência perante nossos filhos, pacificando momentos turbulentos aos quais passei entre casa, trabalho e faculdade.

Aos meus filhos Heitor e Arthur, eu agradeço pelos sorrisos e pelos abraços inúmeros e gratuitos que sempre revigoram minhas forças dia após dia e, assim, de forma involuntária, me mostram novamente um mundo simplificado onde, um copo de leite com achocolatado ao despertar de um novo dia, sugere que todos os problemas, até mesmo os maiores tem soluções e podem ser resolvidos.

Agradeço aos meus colegas de curso pelos aprendizados e de forma muito especial agradeço aos meus amigos Rafael e Vinícius que por vezes me estenderam a mão ou simplesmente de forma fortuita foram exemplos de superação em seus próprios problemas e, assim, foram espelhos e não me deixaram desistir perante meus problemas e as dificuldades do curso.

Por fim, agradeço aos meus familiares e amigos que sempre torceram por mim e aos meus colegas e amigos de caserna que com um companheirismo ímpar me ajudaram a cumprir mais esta missão com êxito.

Gilbert Roriz Pontes

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado à oportunidade e força de chegar até aqui, por estar sempre a frente das minhas decisões e por ter iluminado toda essa trajetória, sem ele não seria possível realizar mais esse sonho.

Agradeço de maneira especial meus pais, por terem me ensinado desde cedo os valores da vida e sempre primarem por me ensinar a ser digno e honesto. Agradeço por sempre estarem ao meu lado, por me compreenderem e me apoiarem, mesmo muitas vezes estando ausente nas tantas reuniões familiares e demais eventos sociais aos quais não pude estar, pois buscava realizar um sonho.

Sonho este que acabou se tornando também sonho de vocês. Portanto, sei que não preciso dizer a vocês o quão difícil foi caminhar esses cinco anos, morando em uma cidade e estudando em outra, mas posso falar com veemência que hoje vencemos juntos, porque essa vitória não é só minha.

Agradeço também a uma pessoa muito importante na minha vida, meu irmão Marcos Junior, que também esteve presente nessa caminhada, acompanhando sempre de perto a minha luta, porém sem intervir, pois por já ter vivenciado e passado cinco anos de idas e vindas para se formar, sabia que eu precisava caminhar e lutar minhas próprias batalhas e ter minhas próprias experiências.

À minha namorada, sempre companheira, que durante esses cinco anos, sempre me ajudou e me ajuda em tudo, seja apoiando ou auxiliando em minhas decisões ou simplesmente me mostrando uma forma mais simples resolver meus problemas, obrigado!

Aos meus amigos, em especial - Rafael, Gilberto, Jordana e aos meus familiares que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para essa conquista. E também ao meu orientador, professor, Filipe, que esteve sempre pronto a me auxiliar com seu conhecimento e dedicação, deixo meus sinceros agradecimentos.

Vinícius Gonçalves Ribeiro

## RESUMO

PONTES, Gilbert Roriz; RIBEIRO, Vinícius Gonçalves. **Sistema de Resfriamento Térmico por Tubos Enterrados em Goiás**. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 72 p. 2018.

O emprego da temperatura do solo como condicionante térmico é uma atividade antiga, mas a utilização de tubos enterrados é uma prática consideravelmente nova. Poucos estudos relatam a utilização da inércia do solo para conforto térmico no Brasil. O estudo e o protótipo mais considerável e mais próximo foi o protótipo de Ventura, feito na cidade de Viamão - RS. O sistema consiste em enterrar os tubos a certa profundidade, com dimensões e tamanhos variáveis, em que o ar irá circular em seu interior, fazendo trocas diretas por condução e convecção para lançar na edificação com uma temperatura mais baixa, a fim de gerar mais conforto térmico. Desenvolvido na cidade de Alexânia - Goiás, o protótipo está sendo executado da seguinte forma e usando os seguintes parâmetros: a temperatura do solo está sendo aferida em cinco diferentes profundidades e em determinado horário do dia, o horário mais crítico, sendo elas respectivamente: 0,5m, 1,0m, 1,5m, 2,0m e 2,5m de profundidade em horário crítico - às 14 horas, que é onde a temperatura está mais elevada. Levando em consideração que a temperatura se mantém praticamente constante a baixo dos 0,15 metros com uma variação mínima até os 1,5 metros não se vê a necessidade de estudar a temperatura abaixo dos 2,5 metros (o que resguarda uma margem de segurança do projeto em 1,0m) e ainda levando em consideração o custo e a trabalhabilidade em confeccionar o projeto, seriam inviáveis a fim de custo benefício e com o princípio da economicidade. Após a análise e determinação da profundidade ideal para se realizar o protótipo, será feita a parte de enterrar os tubos e a conexão e com a execução do protótipo Alexânia - GO, ligado a edificação, para então serem feitas as análises conforme os objetivos definidos a seguir.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Temperatura, Tubos Enterrados. Solo. Profundidade. Estudo geotérmico e Condicionamento Térmico.

## **ABSTRACT**

PONTES, Gilbert Roriz; RIBEIRO, Vinícius Gonçalves. Geothermal Cooling System for Buried Pipes in Goiás, TCC, Civil Engineering Course, UniEvangélica, Anápolis, GO, 91p. 2017.

The use of soil temperature as a thermal conditioning is an old activity, but a use of buried pipes and a considerably new practice. Few studies related to soil usefulness for thermal comfort in Brazil, the study and the most considered and closest prototype of the Ventura prototype in the city of Viamão - RS. The system consists of transmitting the tubes to a certain depth, with variable dimensions and volumes, where the air will circulate in its interior making direct exchanges by conduction and summoning and thus, being released in the building with a lower temperature to generate more thermal comfort. Developed in the city of Alexânia Goiás, Prototype is being executed as follows, using the items. Observations: at soil temperatures it is being measured in five different depths and at certain times of the day, being respectively: 0.5m, 1.0m, 1.5m, 2.0m and 2.5m depth and times in the morning in the afternoon and at night. Taking into account that the temperature is practically constant at a low cost of 1,5 meters, it is not necessary to study the temperature below 2.5 meters (which guarantees a project safety margin of 1.0 m) and still taking into consideration cost, safety and security in the making of the project, would be unviable in order to cost benefit and principle of economy. After an analysis and determination of the ideal depth to realize the prototype, be made part of the systems transmission and a connection with an execution of the prototype Alexânia - GO, with a building for what is superior to next.

### **KEYWORDS:**

Buried Pipes. Soil. Depth. Geothermal Study and Thermal Conditioning.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação de dutos segundo a rigidez relativa.....	25
Figura 2 – Formas de instalação dos tubos enterrados: (a) vala com parede estreita; (b) vala com parede em forma de escada; (c) vala com parede inclinada; (d) vala com mais de um tubo.....	26
Figura 3 – Formas de instalação dos tubos enterrados: (a) saliência positiva; (b) saliência negativa; (c) vala positiva com falsa trincheira.....	27
Figura 4 – Mapa climático do Brasil.....	29
Figura 5 – Figura 5 – Ventilação natural e suas direções.....	31
Figura 6 – Sistema horizontal.....	36
Figura 7 – Sistema vertical.....	36
Figura 8 – Sistema diagonal.....	37
Figura 9 – Sistema de ventilação por exaustores e venezianas.....	38
Figura 10 – Sistema de ventilação com exaustor pequeno.....	39
Figura 11 – Sistema de resfriamento através do solo .....	40
Figura 12 – Contato direto e indireto.....	41
Figura 13 – Figura 13 – Implantação do Protótipo Ventura.....	44
Figura 14 – Figura 14 - projeção da casa.....	45
Figura 15 – Figura 15- projeção da casa.....	46
Figura 16 - Boca de lobo, Picareta, alavanca, trado e enxada.....	58
Figura 17 – Termômetro Incoterm.....	58
Figura 18 – Luvas .....	58
Figura 19 – Canos.....	58
Figura 20 – Soprador de folhas.....	59
Figura 21 – Curva de 90° em PVC.....	59

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Relação da temperatura com a profundidade.....	50
Gráfico 2- Relação da temperatura nos dias 06 e 07 de Novembro de 2017.....	51
Gráfico 3- Relação da temperatura nos dias 08 e 09 de Novembro de 2017.....	51
Gráfico 4- Relação da temperatura nos dias 10 e 11 de Novembro de 2017.....	52
Gráfico 5- Relação da temperatura nos dias 12 e 13 de Novembro de 2017.....	52
Gráfico 6- Relação da temperatura nos dias 14 e 15 de Novembro de 2017.....	53
Gráfico 7- Relação da temperatura nos dias 16 e 17 de Novembro de 2017.....	53
Gráfico 8- Relação da temperatura nos dias 18 e 19 de Novembro de 2017.....	54
Gráfico 9- Relação da temperatura no dia 20 de Novembro de 2017.....	54
Gráfico 10 - Temperaturas ambiente.....	61
Gráfico 11- Temperatura do Quarto.....	62
Gráfico 12 – Temperatura na entrada do tubo.....	62
Gráfico 13- Temperatura na saída do tubo.....	63
Gráfico 14- Temperatura no Quarto após 5 minutos do sistema ligado.....	64
Gráfico 15- Diferença entre a temperatura do quarto e a de saída do tubo.....	64
Gráfico 16- Diferença entre a temperatura do quarto e depois de 5 minutos do sistema ligado.....	65

## LISTA DE FOTOS

Foto 1 – Solo peregulho.....	21
Foto 2 – Solo arenoso.....	21
Foto 3 – Solo siltoso.....	22
Foto 4 – Solo argiloso.....	22
Foto 5 - Chaminé de captação de vento.....	31
Foto 6 - Sistema da utilização de dutos enterrados no Protótipo Ventura.....	43
Foto 7 - Trincheira e tubulação.....	47
Foto 8 - Furos para aferição de temperatura.....	48
Foto 9 – Aferição da temperatura do buraco 03.....	49
Foto 10 - Processo construtivo do protótipo.....	55

## LISTA DE QUADRO

Quadro 1 - Classe dos solos segundo a norma NBR 6502.....	20
Quadro 2 - Relação da temperatura em diferentes profundidades e dias .....	49
Quadro 3 - Material e Quantidade utilizada para desenvolvimento do sistema.....	56
Quadro 4 - Custo.....	59
Quadro 5 - Temperaturas de ambientes e lugares.....	60

## LISTA DE TABELA

Tabela 1- Classificação dos dutos segunda sua rigidez relativa.....	25
Tabela 2 - Índice de renovação de ar por pessoa em determinados ambientes .....	32
Tabela 3 - Velocidade máxima e recomendada para dutos de ar e equipamentos.....	32
Tabela 4 - Efeito da velocidade do vento no usuário.....	33

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABNT	Agência Brasileira de Normas Técnicas.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
NBR	Norma Brasileira.
ONU	Organização das Nações Unidas.
PAC	Programa de Aceleração ao Crescimento.
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
MEIS	<i>Mission Interministérielle sur l' Effet de Serre</i>
RIO	Rio de Janeiro
M	Metro
Cm	Centímetro
Km	Quilômetro
°C	Graus Celsius
Rc	Relação entre a rigidez da seção transversal
Rs	Rigidez do solo circundante
RR	Rigidez relativa
D	Diâmetro do tubo
Ep	Módulo de elasticidade do material
I	Momento de inércia
Es	Módulo de deformidade do solo
Vs	Coefficiente de Poisson do solo
PVC	Polyvinil Chloride ou Policloreto de Polivinila
H	Horas

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>18</b>
1.2	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>18</b>
1.2.1	Objetivo geral.....	18
1.3	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>FATORES QUE INFLUENCIAM O SISTEMA EARTH TUBES: TIPOS DE SOLO, TEMPERATURA, TIPOS DE DUTOS, O CLIMA, O LOCAL E A VENTILAÇÃO</b> .....	<b>20</b>
2.1	<b>TIPOS DE SOLO</b> .....	<b>20</b>
2.1.1	Tipo de solo.....	21
2.2	<b>TEMPERATURA</b> .....	<b>22</b>
2.2.1	<b>Temperatura x Profundidade</b> .....	<b>23</b>
2.3	<b>DUTOS</b> .....	<b>23</b>
2.3.1	<b>Tipos de dutos</b> .....	<b>24</b>
2.3.2	<b>Métodos de instalação dos tubos</b> .....	<b>26</b>
2.3.3	<b>Diâmetro do tubo</b> .....	<b>27</b>
2.3.4	<b>Comprimento do tubo</b> .....	<b>27</b>
2.4	<b>O CLIMA</b> .....	<b>27</b>
2.5	<b>O LOCAL</b> .....	<b>29</b>
2.6	<b>A VENTILAÇÃO</b> .....	<b>29</b>
<b>3</b>	<b>CONFECÇÃO DO SISTEMA EARTH TUBES</b> .....	<b>32</b>
3.1	<b>HISTÓRICO DE UTILIZAÇÃO DO SISTEMA</b> .....	<b>32</b>
3.2	<b>MÉTODOS DE CONFECÇÃO DO SISTEMA</b> .....	<b>35</b>
3.2.1	<b>Contato direto e indireto</b> .....	<b>39</b>
3.2.2	<b>Pontos Positivos</b> .....	<b>41</b>

<b>3.2.3 Pontos Negativos</b> .....	42
3.3 RELATOS DA UTILIZAÇÃO DA INÉRCIA DO SOLO.....	42
<b>4 DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO E FATORES IMPORTANTES</b> .....	45
4.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA.....	48
4.2 ESTUDOS PRELIMINARES.....	48
4.3 VALA.....	55
4.4 MATERIAIS UTILIZADOS.....	56
4.4.1 Descrição dos materiais.....	57
<b>5 CONCLUSÃO DO PROJETO</b> .....	60
5.1 COMPARATIVOS.....	64
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	66
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	66
<b>7 REFERÊNCIAS</b> .....	68
<b>8 ANEXOS</b> .....	70



## 1 INTRODUÇÃO

A relação harmônica entre o homem e o meio ambiente deixou de existir a séculos, porém é notório que, principalmente, após a passagem da manufatura para a maquinofatura, a chamada Revolução Industrial, o homem se colocou totalmente inclinado a gerar, criar, transformar e explorar os recursos do planeta. Os limites da imaginação humana trouxeram consigo o uso exacerbado e despreocupado dos recursos naturais, somando-se isso à alta densidade demográfica, o aumento dos bens de consumo e a total despreocupação em face de degradação do meio ambiente, uma vez que a humanidade se vê há tempos em uma relação quase que paradoxal: criar sem destruir o que ainda nos resta.

Um dos mais críticos e mais discutidos, sem dúvidas, em se tratando de recursos, é o elevado consumo de energia elétrica, sendo cada vez mais a sua dependência, motivos de preocupação por parte dos governantes. No Brasil, mesmo sendo tão abastado em recursos hídricos e capaz de gerar vultosas quantidades de energia, a crise hídrica associada ao aumento da demanda fez com que se pensasse em uma nova necessidade de geração de energia e, principalmente, nova e mais eficaz forma de usá-la. Quando comparados com outros países industrializados, o Brasil apresenta uma matriz energética limpa e o governo brasileiro sabendo das limitações energéticas do país, vem investindo através do Programa de Aceleração ao Crescimento (PAC), que além das obras de infraestrutura - tem especial atenção na área energética como descreve Müller (1990).

Dizer que as inovações tecnológicas colaboram somente com a degradação do meio ambiente e de seus recursos seria uma inverdade, a questão do desenvolvimento sustentável teve uma maior atenção após a reunião promovida pela Organização das Nações Unidas (ONU) no Rio de Janeiro na década de 90, em que a atenção principal foi justamente levada para a consequência da exploração desordenada e para o aumento alarmante do efeito estufa (MÜLLER, 1990). Além dessa reunião, teve-se outra significativa, que foi a Rio 92 em 1992 - onde os chefes de estados comprometeram-se com o desenvolvimento sustentável.

O aumento do aquecimento global é discutido em muitas reuniões pelo mundo, após levantar esse tema na conferência da ONU no Rio de Janeiro, em 1990, ele ganhou força e real preocupação na segunda conferência da Organização das Nações Unidas em Genebra. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*) estima-se que a terra teve um aumento em sua temperatura entre 0,3°C e 0,6°C no século XX (MÜLLER, 1990).

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) apresenta um aumento de temperatura média para as principais capitais brasileiras em cerca de 2,0°C, principalmente, para aquelas em que concentram maior densidade populacional. Tal aumento teve relação direta com o aumento do número de edificações e com a expansão territorial, em especial, dos grandes centros urbanos como é o caso das capitais. A região do Rio de Janeiro, por exemplo, apresentou um aumento maior, ficando com a média de temperatura (1991-2010) 2,2°C acima da última média (1961-1990).

O *Mission Interministérielle sur l' Effer de Serre – (MEIS)* revela que o gás carbônico responsável por cerca de 60% do efeito estufa teve um aumento de 30% desde a década de 70 (MÜLLER, 1990). Hoje, mais de 21 bilhões de toneladas de gás carbônico são lançados na atmosfera devido à utilização de combustíveis fósseis. Além do gás carbônico, cabe ressaltar outros gases que contribuem para o aquecimento global, gás metano, óxido nítrico, os clorofluorcarbonos, até então proibidos pelo protocolo de *Montreal* devido ao seu poder de destruição da camada de ozônio. Além dessas conferências, tivemos outras de grande importância, Protocolo de *Kyoto*, a Conferência de *Haia* e a Rio + 10.

Desse modo, são necessárias infundadas pesquisas para se desenvolver sistemas que consumam pouca energia, que sejam eficientes e, principalmente, sustentáveis. É nesse contexto de economia que desenvolver um sistema de resfriamento, tendo em vista que os modelos utilizados (ar-condicionado, climatizador e ventilador) são responsáveis por um grande aumento do consumo de energia em países tropicais. Além disso, com o aumento da temperatura global e a sensação térmica cada vez mais elevada, a busca por novos modelos de condicionamento térmico é indispensável.

No intuito de vislumbrar tais necessidades de bem-estar e sustentabilidade, que se dá o objetivo fundamental deste trabalho que é fazer um estudo de caso de uma nova forma de energia sustentável (que surgiu na Europa e já testada na região Sul do Brasil) para o Estado de Goiás, o sistema *Earth Tubes*, sendo ele de baixo custo, aonde seu conceito vem utilizar a temperatura natural do solo para um resfriamento de ambientes. Isso se dá devido ao fato de que a temperatura do solo se mantém praticamente constante todo ano com poucas variações, se tornando um sistema eficiente de troca de temperatura ar-solo.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

O método dos *Earth Tubes* ou como conhecemos tubos enterrados vem de encontro a um dos maiores e cruciais problemas enfrentados nos tempos de hoje, o aumento da temperatura média global. Na busca de um conforto térmico, esbarra-se na escassez de recursos energéticos, nos altos preços pagos pelos consumidores nas contas de energia, principalmente, pelo uso de sistemas de ar-condicionado, ventiladores e climatizadores e, mais importante ainda, na degradação dos recursos naturais. Desse modo, o sistema de condicionamento térmico por tubos enterrados vem para solucionar/suprir, de forma sustentável e eficaz, grande parte desses problemas enfrentados atualmente.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

A pesquisa tem como objetivo geral a análise da viabilidade do uso do Sistema *Earth Tubes* no Estado de Goiás, baseada em estudos de casos de outras regiões e através da confecção do projeto, após a realização das medições de temperaturas do ambiente e do solo.

## 1.3 METODOLOGIA

As metodologias aplicadas para o desenvolvimento desse trabalho foram estabelecidas da seguinte forma:

- Realização de cinco diferentes furos no solo realizado em Alexânia – Goiás;
- Aferição da temperatura do solo em diferentes profundidades;
- Determinação ideal da profundidade a se instalar o protótipo;
- Execução da vala para instalar a tubulação a ser enterrada;
- Realização e funcionamento do sistema *Earth Tubes*;
- Análise e apresentação dos resultados obtidos.

## 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para desenvolvimento lógico do trabalho, as informações foram criteriosamente distribuídas para que tivessem uma sequência coerente, com oito capítulos estabelecidos da seguinte forma:

O primeiro capítulo apresenta a introdução do trabalho, trazendo com ela um leque de informações com uma breve apresentação do sistema, o contexto histórico e a importância de se utilizar o sistema, além de apresentar a justificativa e os objetivos.

O segundo capítulo traz os fatores ligados diretamente à concepção, pré-projeto, para o desenvolvimento futuro, como, tubos, temperatura, profundidade, clima, ventilação entre outros.

O capítulo três trata de uma apresentação detalhada do sistema *Earth Tubes*, como instalação, relatos da utilização desse sistema, pontos positivos e negativos e a forma de contato do sistema.

O capítulo quatro do trabalho exhibe a realização do sistema na cidade de Alexânia Goiás, dados referentes à temperatura do solo, todo o processo construtivo, detalhamento dos materiais empregados, a quantidade e os custos.

O quinto capítulo expõe a conclusão do projeto, apresentando todos os dados referentes ao sistema, as temperaturas encontradas, as temperaturas antes e depois do sistema funcionando e alguns gráficos para melhores visualizações.

O Sexto capítulo traz as considerações finais, algumas sugestões para trabalhos futuros - utilizando o protótipo desenvolvido em Alexânia Goiás.

O capítulo sete traz as referências bibliográficas e o capítulo oitavo apresenta algumas figuras em anexo, como a planta baixa da casa e os cortes.

## 2 FATORES QUE INFLUENCIAM O SISTEMA EARTH TUBES

### 2.1 TIPOS DE SOLO

Os solos são resultados de modificações de rochas que compõem a superfície terrestre, devido a efeitos de agentes do intemperismo, tanto físico quanto químico e da decomposição da matéria orgânica (BUENO, COSTA, 2012). Pinto (2012) define os solos como um conjunto de partículas com água e ar nos espaços intermediários. A origem do globo terrestre se dá por quatro camadas: geosfera, o núcleo, a manta e a crosta. A formação dos solos, como consequência física, se dá devida as causas como: variação de temperatura, alívio da pressão, congelamento, entre outros. O intemperismo químico se dá por efeito da água e, em alguns casos, da matéria orgânica, em que a mesma pode ocasionar solo orgânico.

Outro fator relevante, em se tratando de solo, é a sua classificação, que se dá por quatro diferentes tipos, sendo eles: solos residuais, podendo ser inorgânico e orgânico; solos transportados; solos caluvionares; solos aluvionares. Solos residuais é, segundo Bueno (2012), o resultado do intemperismo no local, solo transportado é aquele por efeito da chuva, vento ou gelo - tem se transportado para outro lugar, solos caluvionares e aluvionares são aqueles formados nos pés das elevações e são resultantes das decomposições das partículas, respectivamente.

De forma primária, o solo se diferencia pelo tamanho de suas partículas, conforme pode ser visto no quadro 1 a seguir, geralmente constituído de partículas de tamanhos variados e na maioria das vezes, não sendo fácil identificar e fazer a separação de suas classes, principalmente - em se tratando de partículas menores.

**Quadro -1 Classe dos solos segundo a norma NBR 6502**

Classe	Diâmetro da partícula (D)
Pedregulho	$D > 2 \text{ mm}$
Areia	$0,06 \text{ mm} < D < 2 \text{ mm}$
Silte	$0,002 \text{ mm} < D < 0,06 \text{ mm}$
Argila	$D < 0,002 \text{ mm}$

Fonte: NBR 6502, 1995

### 2.1.1 Tipo de solo

- Pedregulho: é um solo com diâmetro superior a dois milímetros, conforme ilustra a foto 1, muito adequado e com boa característica de drenagem, além dessa característica, o solo tem uma grande resistência ao cisalhamento e uma baixa resistência à compressibilidade (BUENO, 2012).
- Areia: conforme ilustrado na foto 2, é um tipo de solo subdividido em três partes, sendo elas: Areia Fina, Areia Média e Areia Grossa. A areia em geral se caracteriza por ter grãos menores que dois milímetros e maiores que 0,06 milímetros. Assim como o pedregulho, a areia tem boa característica de drenagem, além disso, boa resistência ao cisalhamento e baixa compressibilidade, como expõe Bueno (2012).
- Silte: ilustrado na foto 3 e de acordo com Yazigi, Walid (2014), esse solo apresenta harmonia necessária para formar torrões em seu estado seco, facilmente desagregáveis. Bueno (2012) entende que esse solo é composto por materiais finos, estando entre 0,002 e 0,06 milímetros e de baixa plasticidade.
- Argila: Bueno (2012) traz a definição de argila, ilustrada na foto 4, como um solo muito fino e de difícil drenagem, além de absorver a água quando está em seu estado seco, a argila tem um comportamento muito peculiar quando seu estado passa do seco para o úmido, ela tem uma retração em seu volume.

Foto 1 – Solo Pedregulho



Fonte: <https://pixabay.com/pt/cascalho-pedras-pedregulhos-%C3%A1rido-193683/> visita em 02/11/2017

Foto 2 – Solo Arenoso



Fonte: <https://pixabay.com/pt/cascalho-pedras-pedregulhos-%C3%A1rido-193683/> visita em 02/11/2017

**Foto 3 – Solo Siltoso**

Fonte: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/meio-meio-ambiente/tipos-de-solo> visita em 02/11/2017

**Foto 4 – Solo Argiloso**

Fonte: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/meio-meio-ambiente/tipos-de-solo> visita em 02/11/2017.

## 2.2 TEMPERATURA

Segundo Bahradwaj e Bansal (1981, apud VAZ e SATTLER 2011), deve-se considerar nas análises várias combinações de condições de insolação e umidade, como a variação da temperatura no solo, para um dia de temperatura elevada, típico de verão, e para um dia de temperaturas baixas, típico de inverno, bem como a variação anual da temperatura do solo, para a região de Nova Deli em 1974, mostrou a temperatura variando de 0,15m até a profundidade de 4m.

Segundo Musskopf (2006), a parte do solo que absorve o calor do sol, aquece a superfície da terra por condução, podendo aquecer a uma profundidade de 0,0m a 1,0m. Tendo em vista que a relação da temperatura com a profundidade, em se tratando de solo, mostra-se de uma forma que quanto maior a profundidade - maior o potencial calorífico tanto para o resfriamento quanto para o aquecimento, isso ocorre devido ao fato de que, dependendo da região e da temperatura externa, a radiação solar não altera a temperatura do solo abaixo dos 15 cm.

Na busca de outros resultados e com a intenção de determinar a eficiência do sistema de dutos enterrados, Mihalakakou, Santamouris e Asimakopoulos (1992 apud VAZ e SATTLER, 2011) fizeram uma avaliação durante 74 anos, registrando diariamente a temperatura em quatro diferentes profundidades sendo 0,30 m, 0,60 m, 0,90 m e 1,20 m, em três diferentes horários: 8h, 14h e 20h.

### 2.2.1 Temperatura x Profundidade

A temperatura do solo varia de acordo com a profundidade, assim, melhorando seu potencial energético, tanto para aquecimento do ar quanto para resfriamento. Em muitos casos, essa diferença de temperatura é mínima, uma das mais importantes características em relação à temperatura do solo é que ela se mantém praticamente constante o ano inteiro.

Hollmuller (2004 apud MUSSKOPF, 2006) traz que a profundidade ideal para um pré-aquecimento é colocar os tubos a 2m e 3m, para assim não sofrerem com a variação diária da temperatura, além disso, traz que para um sistema de resfriamento - o ideal é colocar os tubos a uma profundidade em torno dos 0,50m, assim - levando em conta as características climáticas de cada região.

Vaz e Sattler (2011) assevera que para um aquecimento, a profundidade ideal deve estar entre 1,5m a 2,0m para a colocação de tubos na horizontal, afastados um do outro com no mínimo 0,30m e com um comprimento mínimo de 2,0m. Quando o sistema for implantado na vertical, deve se colocar o tubo a um furo de 20 a 300 metros de profundidade e afastado a uma distância de 5,0 metros.

### 2.3 DUTOS

A relação dos dutos enterrados e o ser humano, por vezes, passa despercebida, no entanto é algo presente em suas vidas, pois - cerca de 85% da população mundial vivem em cidades e fazem usos dos dutos constantemente.

Rede de abastecimento de: água, transporte de grãos, rede de coleta de esgoto, passagem de cabos, geralmente, passados pelo subsolo - todos utilizam dutos. Além desses, um que nem todos sabem ou se sabem, muitas vezes desconhecem a magnitude de sua existência é a dutovia enterrada, que faz o transporte de fluido (gás, petróleo e derivados) e que no caso do transporte de gás atravessa o Brasil saindo de Canoas - RS e chegando até Bolívia (Santa Cruz de La Sierra), totalizando 3150 quilômetros.

Os dutos enterrados, por sua vez representam um dos métodos mais baratos e seguros de transporte de fluido em geral, muitas vezes esse método é crucificado por uma má instalação em que pode ocasionar elevação dos dutos, abertura de juntas, perfurações e até rupturas totais, o que pode vir a acarretar uma perda de matérias primas.



### 2.3.1 Tipos de dutos

Os dutos são classificados em duas classes distintas e uma classe intermediária, conforme tabela 1, os dutos rígidos, intermediários e os dutos flexíveis, ABNT 16401-1 (2008), os dutos flexíveis devem ser fabricados em laminados de poliéster alumínio ou outro polímero com mesmas características. O duto flexível apresenta certo grau de deflexão, além de depender de sua relação com o solo para suportar o carregamento aplicado, podemos citar como exemplos os dutos feitos de PVC, aluminizado, plástico reforçado e polietileno.

Os dutos são aqueles que resistem a determinados carregamentos, temos como exemplo os dutos feitos de cimento, aço, ferro fundido, cerâmico e feito de fibra de vidro, sendo esses os mais utilizados na construção civil. Allgood e Takahashi (1992 apud BUENO, COSTA, 2012) afirmam que os dutos enterrados são agrupados de acordo com a relação entre a aridez da seção transversal da estrutura ( $R_c$ ) e a rigidez do solo circundante ( $R_s$ ), parâmetro denominado rigidez relativa (RR).

1 Equação da Rigidez Relativa;

$$RR = \frac{R_s}{R_c} \quad (1)$$

2 Equação da Rigidez da Seção Transversal da Estrutura;

$$R_c = \frac{E_p}{D^3} \cdot I \quad (2)$$

3 Equação da Rigidez do Solo Circundante;

$$R_s = \frac{E_s}{(1-\nu_s)} \quad (3)$$

ALLGOOD E TAKAHASHI (1992 apud BUENO, COSTA, 2012, p.25).

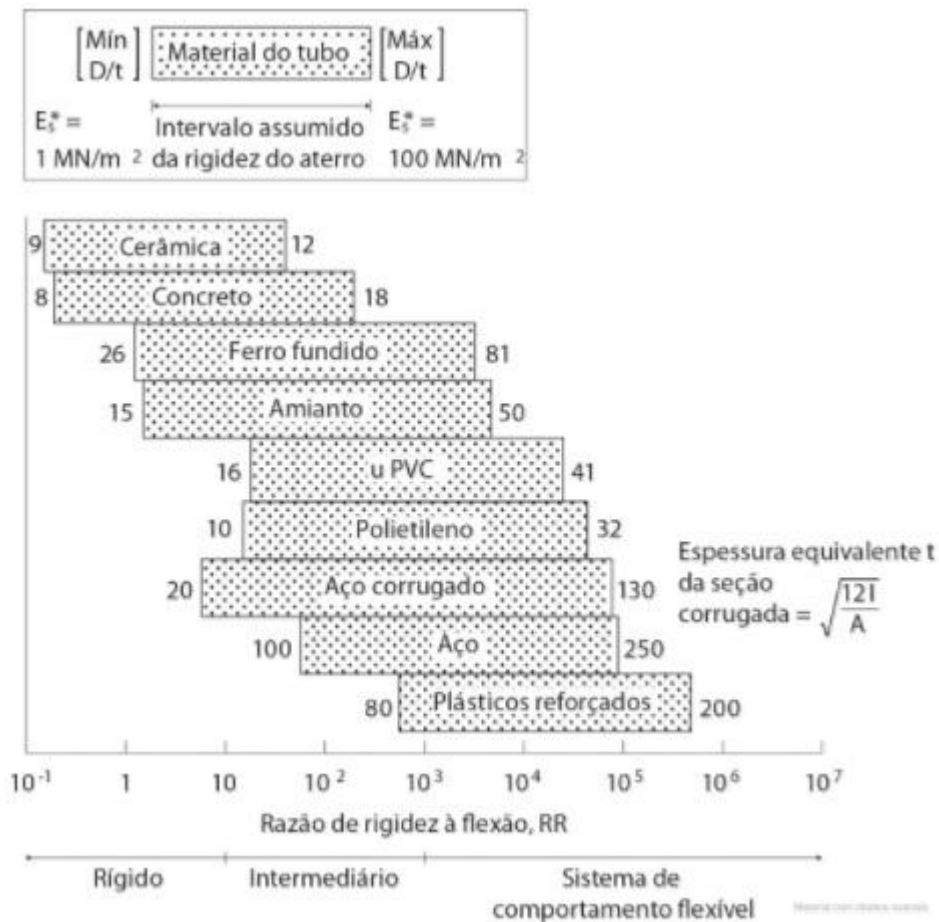
$D$  = diâmetro do tubo;  $E_p$  = Módulo de elasticidade do material;  $I$  momento de inércia da parede do duto =  $t^3/12$ ;  $t$  = espessura do duto;  $E_s$  = módulo de deformidade do solo;  $\nu_s$  = coeficiente de Poisson do solo.

Tabela 1- Classificação dos dutos segunda sua rigidez relativa

Rigidez Relativa ( $RR$ )	Proporção da carga suportada pelo duto, em flexão	Comportamento do sistema
$RR < 10$	Mais de 90%	Rígido
$10 < RR < 1.000$	De 10% a 90%	Intermediário
$RR > 1.000$	Menos de 10%	Flexível

Fonte: BUENO e COSTA, 2012

Figura 1 - Classificação de dutos segundo a rigidez relativa



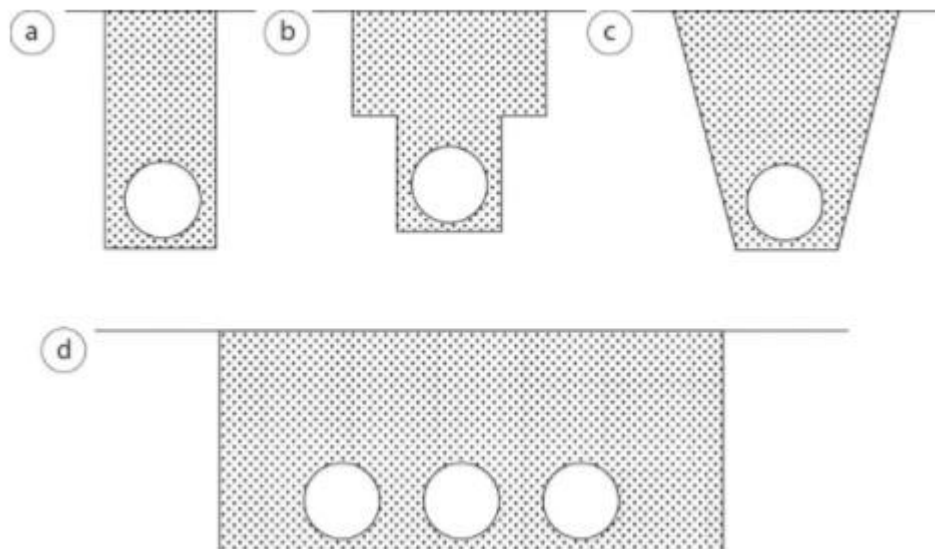
Fonte: BUENO e COSTA, 2012

### 2.3.2 Métodos de instalação dos tubos

Os dutos enterrados ou tubos enterrados podem ser classificados em duas formas distintas conforme sua instalação: valas e salientes. As valas onde implantam os tubos podem ser valas estreitas ou largas, com parede em forma de escada ou com paredes inclinadas, além disso, pode se acomodar um ou mais tubos. São feitas valas ou trincheiras no terreno a qual é compactada e depois os dutos são colocados e recobertos.

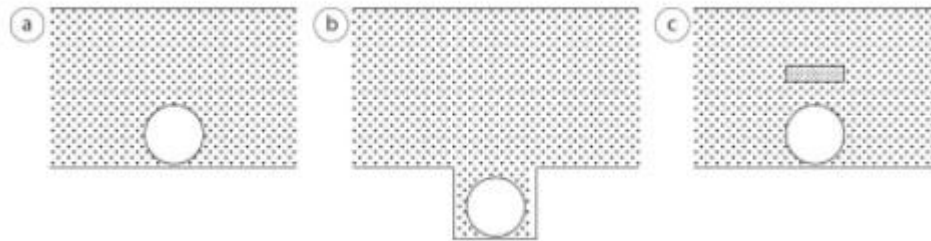
Os tubos enterrados em forma de saliência são aqueles implantados sob aterros, podendo ocorrer em duas situações: saliência positiva e saliência negativa. Saliência positiva é aquela que o tubo fica instalado sobre o solo natural ou vala rasa, em que uma parte do tubo fica acima do nível do solo e depois é coberto com aterro (BUENO e COSTA, 2012). Saliência negativa é quando a vala que repousa o tubo é do tamanho do tubo, ou seja, a parede exterior do topo do tubo fica no alinhamento com o nível do solo natural. A instalação de modo geral é feita por um sistema sem trincheira que consiste em deslocar o solo para as laterais através da execução de um orifício no terreno por meio da cravação de uma barra maciça.

**Figura 2 - Formas de instalação dos tubos enterrados: (a) vala com parede estreita; (b) vala com parede em forma de escada; (c) vala com parede inclinada; (d) vala com mais de um tubo**



Fonte: BUENO e COSTA, 2012

**Figura 3- Formas de instalação dos tubos enterrados: (a) saliência positiva; (b) saliência negativa; (c) vala positiva com falsa trincheira**



Fonte: BUENO e COSTA, 2012

### 2.3.3 Diâmetro do tubo

Hoje em dia se consegue tubos praticamente de todos os diâmetros e modelos, estudos mostram que o diâmetro interfere decisivamente na eficácia do sistema. Vaz e Sattler (2011) diz que com o aumento do diâmetro do tubo e o aumento da velocidade, a capacidade de condicionamento do sistema também diminua. Lombardi (2005 apud MUSSKOPF, 2006) relata que em tubos de diâmetros menores, as diferenças entre trocas de calor com o solo são mais evidenciadas.

### 2.3.4 Comprimento do tubo

Cabe ressaltar que dependendo do tipo do terreno e da disposição a qual terão que ser dispostos os tubos para o funcionamento do sistema, esse pode vir a inviabilizá-lo, pois o aumento do comprimento do tubo, assim como, o aumento do diâmetro do tubo, afeta diretamente a eficiência do sistema, tubos muitos longos ou com muitas curvas apresentam uma perda de carga muito grande, podendo assim não apresentar um resultado satisfatório.

A capacidade de troca de calor aumenta com o aumento do comprimento do tubo, isso ocorre até certo ponto, conhecido como ponto de saturação, assim como a variação da temperatura e o volume de ar interno, esse ponto de saturação ocorre quando a temperatura do ar se iguala com a temperatura das paredes internas do sistema, afirma Boschetti (2006). Neste caso, depois de dada a saturação do sistema, o aumento de comprimento do tubo incidirá somente em um maior gasto para o orçamento.

## 2.4 O CLIMA

O clima é um fator decisivo na eficácia do sistema, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o clima brasileiro é dividido em três; tropical, temperado e equatorial. O Brasil, de forma geral, é considerado um país com o clima quente, devido a maior parte de o seu território ser de temperaturas mais elevadas.

Com uma diversidade climática muito rica, devido ao seu vasto território, há regiões com climas muito diferentes para uma mesma estação climática, as regiões Sul e Sudeste apresentam climas geralmente mais frios e estações do ano mais definidas e típicas. As regiões Norte e Nordeste apresentam um clima predominantemente úmido e quente e neste contexto, a região mais central do país, região Centro-Oeste, sofre influência das regiões extremas e concentram ainda mais variações climáticas.

Quando se fala em clima na região Centro Oeste, de forma geral ela apresenta duas estações bem definidas, tem o verão quente e chuvoso e o inverno frio e seco. Segundo Cunha, (2006), a temperatura do Brasil em média fica em torno no 20°C, com amplitude de 7°C. A região Centro-Oeste, a segunda maior região do país, concentra médias de temperatura a cerca de 26°C para as regiões mais próximas ao norte e média de 22°C para as regiões mais ao sudeste.

No estado de Goiás e, especificamente, na cidade de Alexânia, vale ressaltar que em muitos dias do ano de 2017, a temperatura se obteve bem mais alta do que essas médias, levando em consideração a NBR 6401 (2008) que trata das temperaturas máximas para a região Centro-Oeste: Brasília (DF) 34,8; Goiânia (GO) 37,3; Cuiabá (MT) 39,0; Campo Grande (MT) 37,0 e Ponta-Porã (MT) 35,8.

**Figura 4 – Mapa climático do Brasil**



Fonte: IBGE, 2002

A temperatura média anual na região goiana fica em torno dos 23°C, mas essa temperatura não é predominante o ano todo, a região de Goiás apresenta entre agosto e outubro, basicamente na época da “seca”, as temperaturas mais altas, podendo chegar aos 39°C. A região também apresenta épocas de temperatura baixas entre abril e julho. O estado de Goiás, de modo geral - apresenta uma sensação térmica mais elevada, mesmo em épocas de temperaturas consideravelmente baixas.

O estudo do clima é decisivo na resolução final da eficácia do sistema e, por isso, é o fator a ser considerado e estudado de forma criteriosa, seu estudo deve ser feito, preferencialmente, estação a estação isso antes de empenhar esforços para a confecção do sistema *Earth Tubes*. Tendo como base, se a temperatura do solo estiver igual ou ligeiramente próxima da temperatura ambiente, isso pode não vir a surtir o resultado esperado para o sistema de condicionamento térmico.

## 2.5 O LOCAL

O local está diretamente ligado ao clima, mas principalmente ao bioma presente da região. Ele influencia diretamente o sistema, pois o mesmo varia de região para região com o período de chuva, estiagem, solo, variação da temperatura, velocidade dos ventos e humidade.

A escolha do local é um processo minucioso e deve ser analisado com cuidado. O sistema aplicado na região de Goiás se mostra vantajoso devido ao fator do solo apresentar temperaturas abaixo da temperatura ambiente e temperaturas elevadas em praticamente todo o ano.

## 2.6 A VENTILAÇÃO

Segundo a ABNT (2001), a ventilação é o processo de fornecer ou retirar ar por meios mecânicos ou naturais, de ou para ambientes fechados. Musskopf (2006) assevera que a ventilação deve ser controlada de forma a não gerar incomodas correntes de ar para os ocupantes do ambiente. Segundo Cunha (2006), o fluxo de ar exterior, por ventilação natural, é conduzido através da vegetação para o ambiente interior. O fluxo de ar depende diretamente da diferença de pressão, tanto o ar que entra quanto no ar que sai, depende de suas aberturas e do formato da edificação. A ventilação parte do princípio da necessidade do ambiente e do lugar para países com temperaturas muito baixas, não é indicado o sistema de ventilação natural devido ao incômodo que ela pode trazer, principalmente, pela dificuldade de controle sobre o fluxo de ar.

A necessidade de ventilação não está ligada somente a questões térmicas, mas ligadas diretamente a questão higiênica também. Toledo (2001 apud MUSSKOPF 2006) subdivide a questão térmica em duas, conforto do usuário e remoção do calor ambiente. O primeiro ponto da subdivisão está ligado às necessidades humanas, como oxigênio, gás carbônico e a desconcentração de odores. O segundo ponto está ligado à remoção de calor e humidade interna. Duas situações são apresentadas por Grala (2006) no que tange à ventilação natural: ventilação no verão e ventilação no inverno. No verão, a vegetação conduz os ventos incidentes para o interior da edificação, assim minimizando o desconforto térmico. Na situação de inverno, a edificação deve apresentar esquadria totalmente ou parcialmente vedada para, assim, não entrar ar externo e manter a temperatura interna.

A ventilação, assim como o estudo climático e o estudo do solo, é um fator crucial no que tange ao conceito de sustentabilidade. A ventilação pode ser gerada de diversas formas, mas dividida em duas categorias, natural ou mecânica. A forma mecânica se tem um gerador que produz o ar que é diretamente lançado na serpentina. O gerador pode ser combinado com outra fonte sustentável como energia solar. A vantagem neste caso, é que se tem um sistema mais eficiente e que também pode vir a ter um controle de funcionamento.

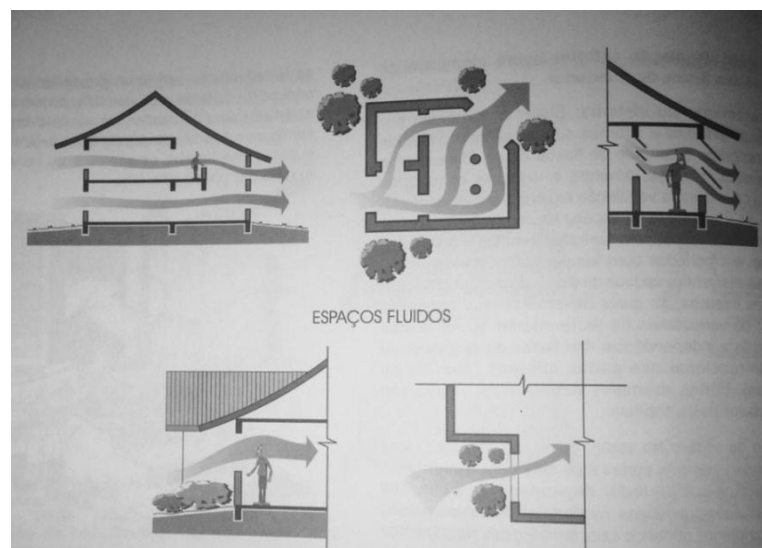
A forma natural tem o princípio de construção da chaminé de coleta de vento, que é um sistema em que o vento, de forma natural, entrará através da chaminé e percorrerá o tubo até adentrar a residência conforme imagem da figura 5. A chaminé é posicionada de preferência virada para a região que mais pode proporcionar a ventilação. O ponto negativo é que não se tem uma ventilação grande e não se controla a entrada de ar.

**Foto 5 – chaminé de captação de vento**



Fonte: MUSSKOPF, 2006

**Figura 5 – Ventilação natural e suas direções**



Fonte: CUNHA, 2006



Tabela 2- Índice de renovação de ar por pessoa em determinados ambientes

Local	m³ por pessoa		percentagem de pessoas fumando
	preferível	mínima	
Apartamentos	35	25	Baixa
Bancos	25	17	Baixa
Barbearias	25	17	Baixa
Bares	35	25	30%
Escritórios (geral)	25	17	Baixa
Estúdios	35	25	0
Lojas	13	8	0
Quartos (hospitais)	25	17	Baixa
Quartos (hotéis)	25	17	Baixa
Residências	35	25	Baixa
Restaurantes	35	25	25%
Salas de diretores	50	40	100%
Salas de operações (hospitais)	-	-	0
Teatros, cinemas, auditórios	12	10	0
Salas de aula	50	40	0
Sala de reunião	35	25	Baixa

Fonte: ABNT, 1980

Tabela 3 - Velocidade máxima e recomendada para dutos de ar e equipamentos

Designação	Recomendadas (m/s)			Máximas (m/s)			
	Residências	Escolas, teatros e edifícios públicos	Prédios industriais	Residências	Escolas, teatros e edifícios públicos	Prédios industriais	
Tomadas de ar exterior <sup>(A)</sup>	2,50	2,50	2,50	4,00	4,50	6,00	
Serpentinas(1)	Resfriamento	2,25	2,50	3,00	2,25	2,50	3,60
	Aquecimento	2,25	2,50	3,00	2,50	3,00	7,50
Lavadores de ar	- Borrifador	2,50	2,50	2,50	3,50	3,50	3,50
	- alta velocidade	-	-	9,00	-	-	9,00
Descarga do ventilador	mín.	5,00	6,50	8,00	-	-	-
	máx.	8,00	10,00	12,00	8,50	11,00	14,00
Dutos principais	mín.	3,50	5,00	6,00	-	-	-
	máx.	4,50	6,50	9,00	6,00	8,00	10,00
Ramais horizontais	mín.	-	3,00	4,00	-	-	-
	máx.	3,00	4,50	5,00	5,00	6,50	9,00
Ramais verticais	mín.	-	3,00	-	-	-	-
	máx.	2,50	3,50	4,00	4,00	6,00	8,00

Fonte: ABNT, 1980

Tabela 4 - Efeito da velocidade do vento no usuário

Velocidade do ar (m/s)	Efeito sobre o usuário	Redução aparente na temperatura (°C)
0,1	Falta de ventilação	0,0
0,25	Significante só quando as temperaturas são baixas	0,7
0,5	Refrescante	1,2
1,0	Confortável, mas sempre o movimento do ar é notado. Máxima velocidade do ar à noite	2,2
1,5	Máxima velocidade do ar dentro da edificação	3,3
2,0	Aceitável apenas sob condições de alta umidade e temperatura.	4,2

Fonte: EVANS e SCHIRLLER, 1994, apud MUSSKOPF, 2006

### 3 CONFEÇÃO DO SISTEMA *EARTH TUBES*

#### 3.1 HISTÓRICO DE UTILIZAÇÃO DO SISTEMA

O sistema *Earth Tubes* ou como chamado no Brasil tubos enterrados ou dutos enterrados, consiste em um sistema de condicionamento térmico que se utiliza de dutos enterrados no solo a uma determinada profundidade em que ao ar passar por dentro desse tubo, assim – esses trocarão calor por contato com a parede do tubo e adentrará na edificação com uma temperatura mais amena ou mais alta do que a temperatura do cômodo. Tendo conhecimento que a temperatura durante o dia se apresenta comumente mais elevada do que a noite, o sistema nesse sentido tem como objetivo resfriar o ambiente e em se tratando do período noturno, a temperatura ambiente tende a estar em algumas vezes mais baixa do que a temperatura do solo, então o sistema parte para o princípio de aquecer o ambiente.

Para descrever o aspecto histórico dos *Earth Tubes*, é primordial que seja abordado o aspecto etimológico da palavra central aqui, que no caso é - ENERGIA GEOTÉRMICA. Com o intuito de total esclarecimento e, principalmente, a fim de valorizar a pesquisa, entende-se que energia geotérmica é a energia oriunda, em forma de calor, da camada central da terra (crosta terrestre) e de tudo que a compõe, areias, rochas, cascalhos, fluídos (ar e água), a fim de preencher seus poros e fraturas (VAZ e SATTLER, 2011). Seguindo por essa linha de raciocínio, a geotermia se define por estudar os fenômenos térmicos, internos, do globo terrestre.

Contudo é importante ressaltar que “geotermia” é mais comumente utilizada para definir a prática da geologia, que no caso é o ato de se localizar jazidas naturais de água quente (90°C – 180°C) ou até mesmo para definir geração de energias elétricas ou determinados tipos de processos industriais. Quando se aborda temperaturas inferiores a de 90°C e permanecendo na utilização do termo “geotérmico”, há um considerável aumento das atividades relacionadas, como por exemplo, calefação de espaços/ambientes, processos de maturação da lã (lavagem/secagem), etc.

A aplicação do termo “geotermia” e o uso da energia dos solos advêm, principalmente, das regiões onde há climas severos e onde o calor oriundo da Terra brota de forma espontânea na superfície, nesse caso, datadas de 3500 anos atrás quando os escandinavos conduziam, através de dutos de madeira, a água aquecida que brotava do solo naturalmente para fins de higiene pessoal.

Quando utilizado em forma de armazenador de energia, a data mais longínqua a que se pode tomar como exemplo a ser apresentado é dada nas construções das casas dos povos Vikings, na região da Escandinávia, onde eram construídas em partes ou totalmente enterradas no solo com madeiras e com o telhado recoberto de musgos a fim de deixar o interior mais aquecido. Já na região das Américas, os povos Maias se utilizavam da energia do solo para utilização em higiene pessoal, nas arquiteturas das cidades e até mesmo na agricultura.

Na Bélgica, alguns séculos após (1326), surgem os *spas*, que utilizavam a energia para tratamentos físicos e mentais com as fontes de águas quentes, posteriormente, bem mais recentes, surgiram nos Estados Unidos os *resorts* (Centro Calistoga na Califórnia – 1852) e no Japão surgem os banhos sociais, (MUSSKOPF, 2006). Já em algumas regiões dos Estados Unidos, Paris, Islândia e em Budapeste, a utilização de fluidos geotérmicos também se dava para o aquecimento de ambientes fechados.

Por volta de 1400, já na Idade Moderna, tem início em Larderello na Itália à utilização de fontes termais de vapor para produzir produtos químicos provenientes do bórico, devido a isso, a região ficou hoje conhecida como Boraciferous. Com o passar do tempo e com o desenvolver do processo, as fontes de calor passaram a ter, também, como finalidade, a geração de energia elétrica (1904) e, posteriormente, essa produção de energia seria vendida para ser utilizada no aquecimento de residências (1913), sendo responsável por aquecer cerca de 130.000 residências com uma média de produção de 130MW de potência (Itália 1943) e cabe ressaltar que ainda nos tempos de hoje há produção de energia através das fontes termais.

O Relato e o uso mais próximo da energia geotérmica na região de Goiás estão presentes na região de Caldas Nova - GO. As histórias falam que as águas são quentes devido ao um vulcão inativo na região, mas a verdade é que a água troca calor com o interior da terra e sabendo que o centro da terra apresenta uma temperatura bem mais elevada, a troca de calor faz com que a água se aqueça, retornando à superfície com a temperatura mais elevada.

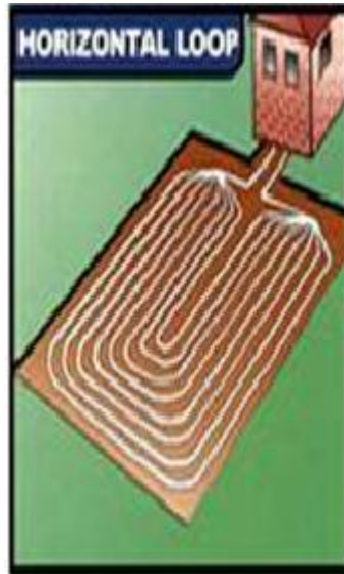
### 3.2 MÉTODOS DE CONFECÇÃO DO SISTEMA

Existem diferentes métodos para a instalação do sistema de tubos enterrados e para o sistema de ventilação que alimentará os sistemas de dutos. Para a parte de solo, no que se referem à disposição a qual os tubos serão enterrados, eles são divididos em horizontal,

vertical e diagonal, já para a parte da alimentação do sistema têm-se algumas situações com características específicas dentro desses métodos.

Na figura 6, tem-se a disposição dos tubos de resfriamento na horizontal, em que se apresenta um sistema mais fácil de ser executado, no qual a vala pode ser feita de forma manual, o que exige menos recursos durante a execução.

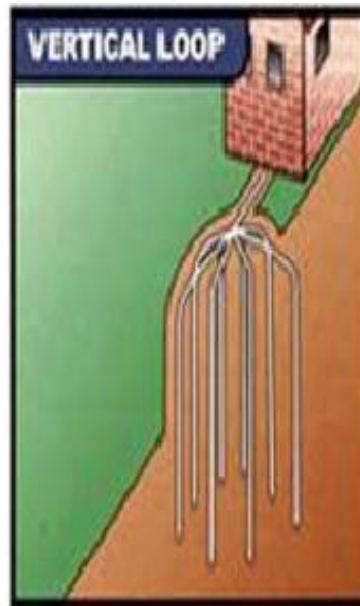
**Figura 6 - sistema horizontal**



Fonte: <http://www.gagel.com/assets/geothermalimages/ELTLoops.jpg>

Na figura 7, têm – se tubos enterrados na vertical, onde se pode atingir uma temperatura mais baixa do que encontrada próxima à superfície terrestre, no entanto, tem que levar em conta a execução do sistema nessa situação, já que é necessário um tipo de máquina mais específica para realizar a confecção dessa vala.

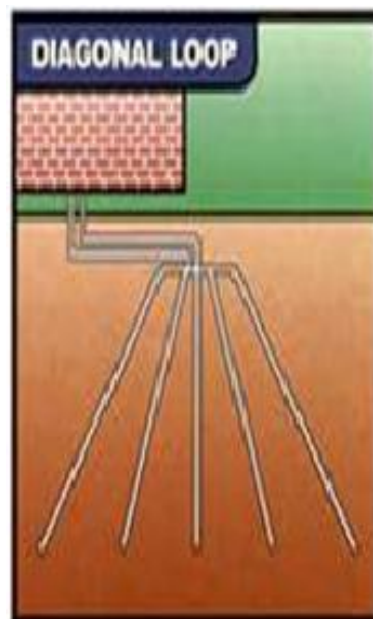
**Figura 7- sistema vertical**



Fonte: <http://www.gagel.com/assets/geothermalimages/ELTloops.jpg>

Na figura 8, o sistema executado em diagonal parte do mesmo princípio dos métodos anteriores, o que irá definir qual método usar na configuração do terreno e no estudo inicial do solo.

**Figura 8- sistema diagonal**



Fonte: <http://www.gagel.com/assets/geothermalimages/ELTloops.jpg>

Para a parte de alimentação de ar, os sistemas se diferenciam em duas situações, situação de inverno e situação de verão, isso ocorre para que o sistema atenda de forma eficaz às diferentes situações de temperaturas e estações climáticas, trazendo ao sistema um melhor aproveitamento durante todo o ano.

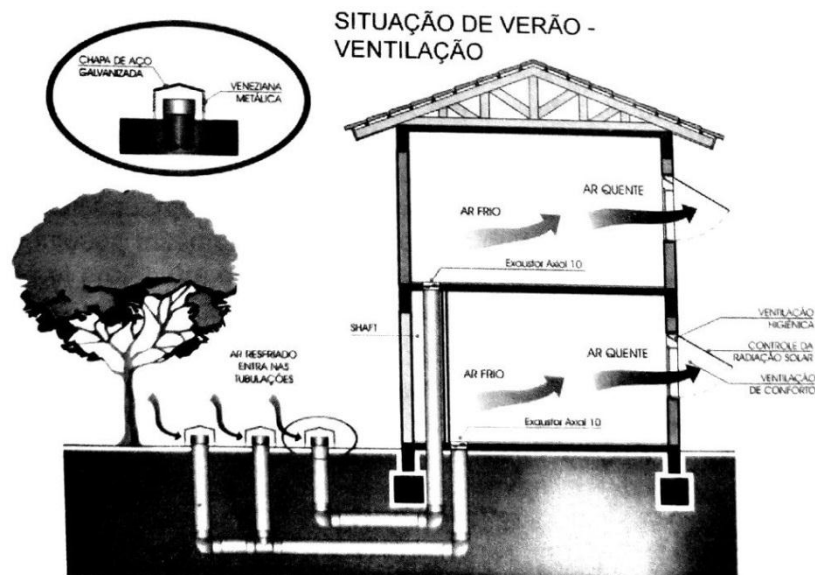
De forma geral, independente do tipo de disposição dos tubos, o sistema é composto por dutos de PVC de 100 a 200 mm, enterrados de 0.5 a 2 metros de profundidade tendo uma ou mais entrada de captação de ar, Cunha (2006).

No exemplo da figura 9, a seguir, verifica-se o detalhe do emprego de dois exaustores na lateral para expulsar o ar quente. Assim como todo sistema de resfriamento por tubos enterrados, o ar entra no tubo e é lançado na edificação com a temperatura mais baixa.

Situação verão: no verão, onde o sistema mais será usado, devido às temperaturas estarem mais altas, recomenda-se plantar vegetações de médio porte próximo a onde será captado o ar, fazendo sombra e auxiliando na redução da temperatura.

Situação inverno: em boa parte do tempo o sistema estará desligado, tendo em vista que a temperatura ambiente estará mais baixa que a temperatura do solo, mas podendo, em alguns casos, ligar o sistema para um aquecimento do ambiente.

**Figura 9 – Sistema de ventilação por exaustores e venezianas**



Fonte: CUNHA, 2006

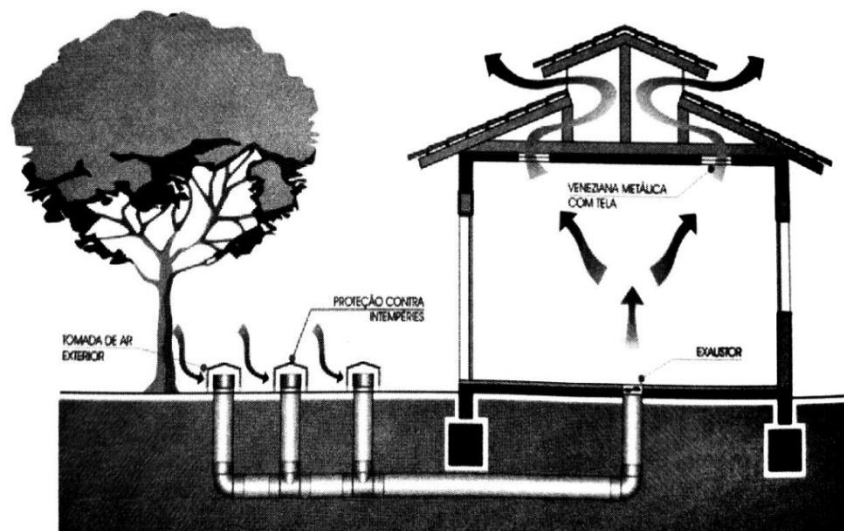
O exemplo da figura 10 consiste em dutos enterrados a dois metros de profundidade, exaustores e venezianas no forro, como expõe Cunha (2006). Esse sistema apresenta uma característica diferente da anterior, pois o ar lançado não será na lateral da parede como no

outro, mas sim no meio do ambiente, repartindo o ar por igual na sala. O ar lançado no centro do ambiente vai fazer com que o ar quente suba e saia por fendas na cobertura.

Situação de verão: as venezianas do forro ficarão abertas, fazendo assim, com que o ar quente suba e saia por essas fendas.

Situação de inverno: no período frio, em maior parte do tempo, o sistema estará desligado e suas fendas, se possíveis, ficarão fechadas fazendo com que assim a temperatura interna seja conservada.

**Figura 10 – Sistema de ventilação com exaustor pequeno**



Fonte: CUNHA, 2006

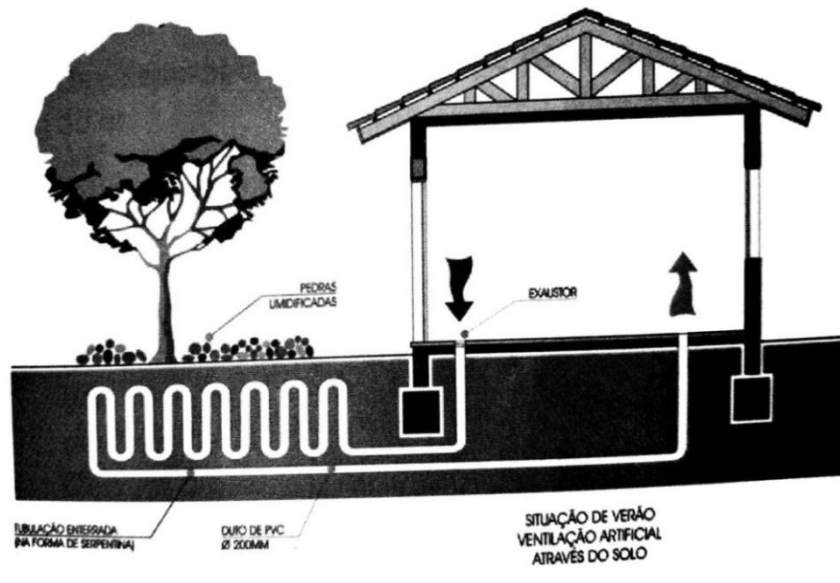
O exemplo da figura 11 é composto por uma tubulação enterrada e um exaustor de pequena capacidade (CUNHA, 2006). A característica desse sistema é que ele utiliza o próprio ar interno para o resfriamento do próprio ambiente. Ele capta o ar, atravessa-o pelo tubo enterrado e lança-o no próprio ambiente com a temperatura mais amena.

Situação verão: nessa época mais quente, o sistema será utilizado com mais frequência para ter maior controle e é indicado que coloque um interruptor para controlar quanto tempo o sistema ficará ligado.

Situação inverno: assim como nos exemplos anteriores, é necessário verificar a temperatura interna para a utilização do sistema e, na maioria das vezes, o sistema ficará desligado.



Figura 11 – Sistema de resfriamento através do solo



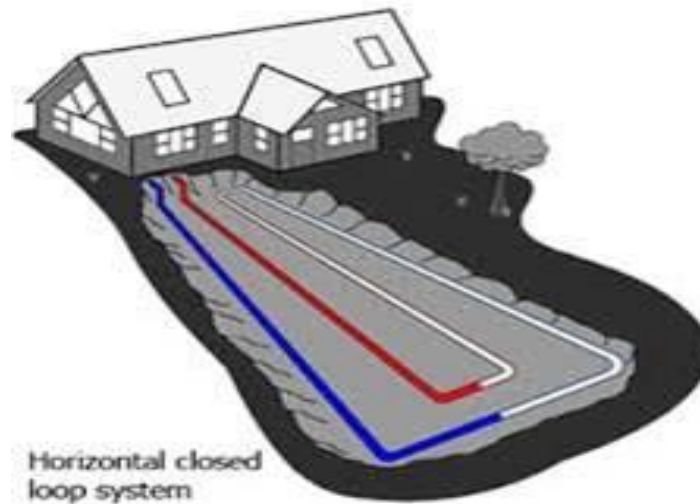
Fonte: CUNHA, 2006

### 3.2.1 Contato direto e indireto

O princípio de troca de calor por contato direto é mais presente ao longo da história, muitos usavam dessa técnica para obter um ganho térmico favorável, sendo as construções enterradas totalmente ou parcialmente para aproveitarem a energia do solo na troca de temperatura - a fim de conseguir amenizar os efeitos climáticos. O método de contato direto é mais comumente utilizado em regiões de clima frio severo, pois conforme já relatado nesse trabalho, o solo tende a permanecer em temperatura constante. Em regiões onde a temperatura encontra-se muito baixa, as casas tendem a ter uma arquitetura diferente para evitar a entrada do frio. Musskopf (2012) verifica as vantagens da casa enterrada como limitadas por motivos de infiltrações, perdas de calor, proteção contra fogo e tempestade, além de poucas vibrações e barulhos.

O contato indireto, foco deste trabalho, não é tecnicamente novo, mas pouco usado. O sistema de condicionamento por tubos enterrados é um exemplo desse modo. A escolha de como será instalada a serpentina no terreno fica de acordo com a limitação do espaço, podendo ser na vertical, horizontal e na diagonal.

**Figura 12 – Contato direto e indireto**



Fonte: <http://windpower-mt.com/ClosedloopETHE.jpg>, 2016

### 3.2.2 Pontos Positivos

O sistema de condicionamento por tubos enterrados apresenta um grande quadro de pontos positivos, motivos tais que influenciaram a confecção desse trabalho de conclusão de curso e, principalmente, a confecção desse sistema na região de Goiás.

Em estudos preliminares e que serão demonstrados no decorrer deste trabalho, o estado de Goiás mantém, como características principais do seu clima, o aspecto seco e geralmente quente na maioria do ano e, uma vez que nas referências bibliográficas levantadas no decorrer desse projeto e - conforme já explicitadas até o presente, dizem que, ao ser aplicado em regiões tropicais onde se tem, em boa parte do ano, uma temperatura muito elevada e com a inércia do solo, consegue-se abaixar relativamente à temperatura do ar conseguindo-se um conforto térmico considerável.

Tendo como ponto principal a sustentabilidade e exigindo um estudo detalhado da relação ar-solo, contudo - não exigindo uma mão de obra muito especializada para a confecção do sistema em si, seu custo se torna relativamente barato e pelo fato do sistema não necessitar de energia ou necessitar de pouca energia para ser colocado em funcionamento, e além de resfriamento térmico, o sistema poder trabalhar também em aquecimento térmico, claro que, dependendo da temperatura externa e considerando o estudo e a viabilidade do projeto e a temperatura do solo local em sua constante. Nesse sentido, o sistema poderá suprir o conforto térmico também para aquecer o ambiente, o que nesse caso proporciona uma balança positiva ao seu favor.

### 3.2.3 Pontos Negativos

Assim como todo sistema tem o seus pontos positivos, eles também têm seu lado negativo e, o condicionamento por tubos enterrados apresenta alguns. O principal ponto negativo é não ser possível controlar a temperatura que sai no tubo, outro ponto é não funcionar em todos os casos, conforme já falado, o que faz necessário um estudo de solo e da relação de temperatura ar-solo do local que se almeja realizar o projeto e se fazer um apanhado da temperatura em determinado tempo, de preferência - em estações climáticas distintas (primavera, verão, outono, inverno) para ver a viabilidade do projeto na região. Esse é o fator determinante para a realização desse, uma vez que em regiões onde a temperatura ambiente se encontra próxima ou até mesmo igual à temperatura do solo, o projeto não terá eficácia.

E mesmo em caso de respostas positivas após o estudo da relação de temperatura ar-solo, dois outros fatores são necessários analisar antes de decidir executar o projeto, conforme já visto anteriormente aqui, o seu custo inicial, já que pode vir a ser um ponto negativo, pois dependendo da profundidade do solo e da disposição a qual terá que ser colocados os dutos, esse passará a ser economicamente inviável e, por fim a disposição de certo espaço no terreno para implantação desse.

## 3.3 RELATOS DA UTILIZAÇÃO DA INÉRCIA DO SOLO

O resfriamento por tubos enterrados pode ser uma novidade no Brasil, mas em muitos países esse sistema é estudado e executado há muito tempo. O estudo mais próximo no Brasil que temos é o protótipo Ventura.

Na região de Costozza – Norte da Itália é onde se tem registros da primeira transferência de calor ar-solo, com o intuito de resfriamento, e datada em meados de 1550, em um complexo residencial chamado de *Le ville di Costozza*. Eram constituídas de seis edificações de grande porte, todas contendo um sistema natural de resfriamento do ambiente (VAZ e SATTLER 2011).

Em uma escola na região de *La Pampa*, na Argentina, foi feito uma espécie de duto para melhorar o condicionamento térmico de um laboratório presente na escola. O duto era feito de tijolo convencional de 0,11m de espessura, e 0,40m altura e 0,65 de largura, formando uma seção retangular e com comprimento de 29m (VAZ e SATTLER, 2011). Esse

sistema teve um resultado positivo, a temperatura a noite teve um aquecimento de 1,4°C e durante o dia teve uma queda de 1,5°C (MUSSKOPF, 2006).

Foi feito em Genebra, na Suíça, especificamente - em um prédio residencial e comercial com o nome de Caroubier, um sistema de dutos enterrados. Foram colocados 45 tubos enterrados de 0,125m de diâmetro, espaçados a 0,3m entre eles, com 50 metros de comprimento e enterrados a 0,5m de profundidade (MUSSKOPF, 2006).

Em estufa para vegetais, colocam-se tubos de plásticos e alumínio. O ar interno da estufa circula através do tubo enterrado, fazendo assim a troca de calor do ar com o solo, podendo esfriar durante o dia e aquecer durante a noite (MUSSKOPF, 2006). Esse tipo de edificação remete a arquitetura bioclimática.

O trabalho mais próximo e, de certa forma, inspiração para a realização desse novo trabalho, veio a ser realizado no Brasil - é o protótipo da cidade de Ventura, feito no município Viamão cidade de Porto Alegre estado de Rio Grande do Sul, Brasil. Em que Musskopf (2006) apresenta um condicionamento térmico de uma sala de uma escola de artesanato dentro do empreendimento Villa Ventura.

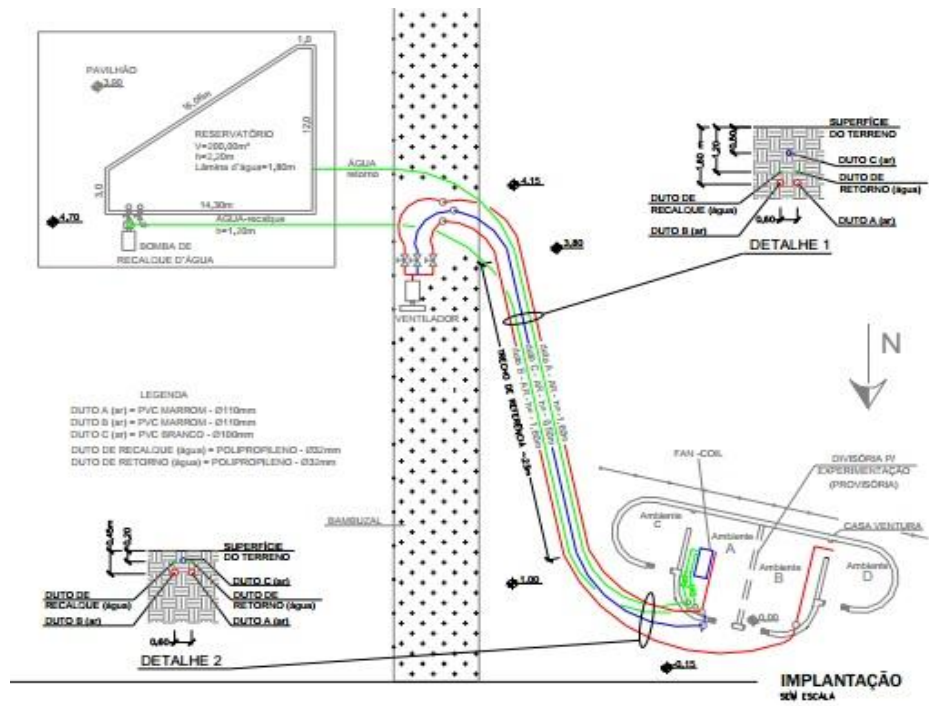
Foram utilizados no sistema três tubos de PVC, sendo dois tubos de 0,10m e um de 0,20m, com 18 metros de comprimentos cada e espaçados 0,30m entre eles.

**Foto 6- Sistema da utilização de dutos enterrados no Protótipo Ventura**



Fonte: MUSSKOPF, 2006

Figura 13 – Implantação do Protótipo Ventura



Fonte: VAZ E SATTLER, (2011)

#### 4 DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO E FATORES IMPORTANTES

Trata se de um estudo de caso em forma de protótipo, realizado na cidade de Alexânia Goiás, especificamente  $16^{\circ}04'54.70''S$   $48^{\circ}30'17.20''O$ . O estudo se mostra como pioneiro na cidade de Alexânia e também no estado de Goiás.

**Figura 14 - projeção da casa**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

O protótipo foi desenvolvido no setor central da cidade, a qual representa uma cidade do interior - contendo uma população em média de 30.000 habitantes. A escolha da cidade foi dada pela disponibilidade de um dos integrantes do grupo residir na referida cidade e também por ter um local disponível para o desenvolvimento do sistema.

O sistema foi desenvolvido em um lote de dimensões 15m x 30m, onde se tinha uma casa que não estava habitada, a casa feita de alvenaria convencional, com telhado de fibrocimento e sem forro ou laje. O protótipo foi desenvolvido para resfriar apenas um cômodo da casa.

**Figura 15- projeção da casa**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

A casa conta com dois quartos, sala, cozinha dispensa e um banheiro, conforme planta baixa em anexo, fica localizada no centro da cidade de Alexânia Goiás. A cidade de Alexânia fica em uma das principais rotas do país, se localizando a 90,2 km da capital do país, Brasília e ficando a 119 km da capital do estado, Goiânia. Foi tomado como cômodo de estudo, o quarto 01, por um fator característico de ser um cômodo fechado, o que facilita a análise da eficácia do sistema.

#### 4.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Foi utilizado um sistema geotérmico indireto na edificação. Trata se uma sequência de tubos lineares enterrados, onde o ar exterior adentra aos tubos fazendo troca de calor, ou seja, ganhando ou perdendo temperatura, dependendo das características climáticas e assim entrando ao quarto com essa diferença de temperatura.

Também foi utilizada, como fonte de geração de ar, uma bomba de ar a combustão já que o local não dispunha de energia elétrica e um sistema de energia solar ficaria economicamente inviável aos realizadores desse projeto. Desse modo, a fim de facilitar a visualização da eficiência do sistema e para fazer o ar circular dentro do tubo e, assim, o tornar efetivo para o fim de resfriamento e, posterior conclusão desse projeto - esse meio foi o mais viável encontrado.

**Foto 7 – Trincheira e tubulação**

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Levando em conta o terreno consideravelmente plano, o sistema só precisou se adaptar ao tamanho do lote para alcançar o tamanho desejado de tubos enterrado, o sistema precisou fazer uma curva de 90°.

Foram enterrados 30,00 metros de tubos de PVC de 100 milímetros a 0,50 metros de profundidade - onde 1 metro do tubo ficou exposto para fazer a ligação dos tubos enterrados com a bomba de ar. O sistema foi pensado para que na hora que estivesse com a temperatura mais elevada, a sombra projetada no muro ficasse sobrepondo onde os tubos foram enterrados, tornando mais eficiente o sistema.

Outro fator fundamental na hora de decidir em qual e como seriam dispostos os tubos enterrados, foi à presença de uma vegetação pequena. O lote conta com dois pés de jabuticaba, o que segundo estudos apresentados no decorrer do trabalho, mostra um fator positivo devido à sombra projetada pela vegetação e, assim - tendo em vista que a temperatura naquela região é mais amena, foi ponto crucial para a escolha do ponto de coleta de ar externo.



## 4.2 ESTUDOS PREMILINARES

Para identificar a profundidade ideal e até mesmo para ver a viabilidade e o sucesso do sistema, antes mesmo da execução, foi feito um estudo de solo-temperatura, que consistiu em fazer a leitura da temperatura em 15 dias consecutivos em diferentes profundidades. Tendo o conhecimento de que a temperatura do solo se mantém praticamente constante o ano todo e, segundo pesquisas realizadas sobre a média de temperatura da região, a intenção foi determinar a qual profundidade seria ideal para se enterrar os tubos.

**Foto 8- Furos para aferição de temperatura**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Quadro 2- Relação da temperatura em diferentes profundidades e dias

Temperaturas Diárias								
	Dia	Quarto	Buraco 01	Buraco 02	Buraco 03	Buraco 04	Buraco 05	Temperatura Ambiente em °C
1	06/nov	37,2	24,6	24,9	24,9	24,2	23,9	35,3
2	07/nov	32,40	24,80	24,90	25,00	24,90	24,90	27,10
3	08/nov	24,90	24,50	24,40	24,50	24,10	23,50	26,00
4	09/nov	27,30	24,40	24,40	24,40	24,00	23,80	24,10
5	10/nov	25,10	23,10	24,20	24,30	23,90	23,40	23,80
6	11/nov	27,30	24,20	24,40	24,10	23,90	24,40	26,50
7	12/nov	31,80	24,30	24,30	24,50	24,10	24,40	28,30
8	13/nov	41,70	24,30	24,30	24,20	23,80	22,80	34,80
9	14/nov	36,80	24,10	24,10	24,30	24,20	24,30	33,90
10	15/nov	38,70	24,30	24,40	24,40	24,30	24,30	34,60
11	16/nov	40,30	24,20	24,50	24,20	23,90	24,00	28,60
12	17/nov	38,60	23,90	23,90	24,10	24,30	24,20	31,50
13	18/nov	37,50	23,80	23,90	24,00	24,30	24,30	30,80
14	19/nov	38,40	24,00	23,80	24,20	24,20	24,40	32,20
15	20/nov	39,10	24,10	24,10	24,20	24,20	24,30	33,10

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Foto 9- Aferição da temperatura do buraco 03



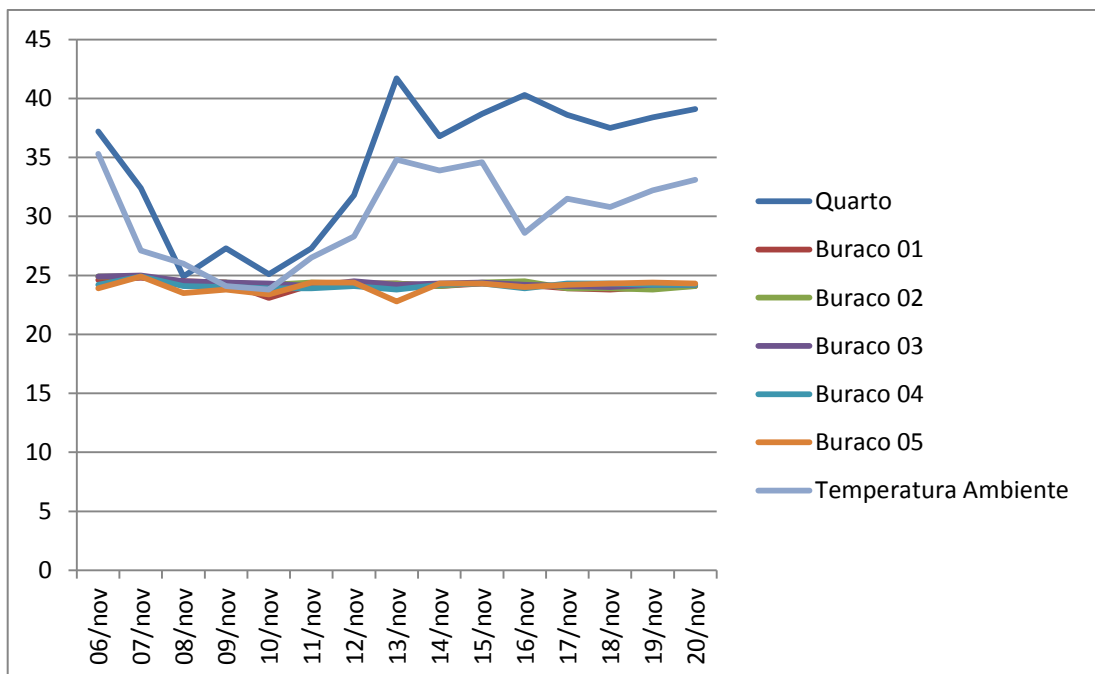
Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Os furos foram feitos com trado tradicional. O furo 01 tem 2,5 metros de profundidade, o furo 02 tem 2 metros, o furo 03 1,5 metro, o furo 04 tem 1 metro e o furo 05

tem 0,5 metro. Os furos foram feitos em uma posição do lote desfavorável, ou seja, uma posição que pega sol praticamente o dia todo. Os furos foram feitos assim de forma proposital, isso para que tivéssemos o pior caso de estudo da temperatura do solo, para obter as temperaturas mais elevadas.

Para medir a temperatura, foi utilizado um termômetro da *incoterm*. A temperatura foi aferida em horário mais desfavorável, entre 12h30min e 14h30min, horário em que a temperatura se apresenta mais elevada. Além das temperaturas dos furos, foi aferida a temperatura do quarto a ser estudado e a temperatura ambiente, para se comparar a diferença de temperatura e assim confirmar a viabilidade do projeto.

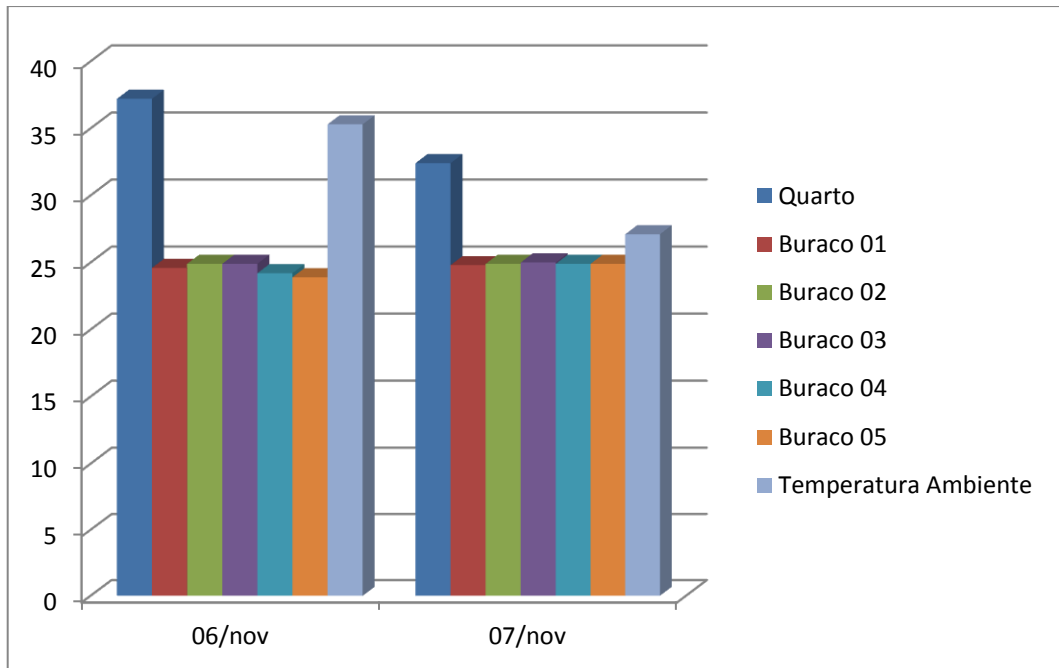
**Gráfico 1- Relação da temperatura com a profundidade**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

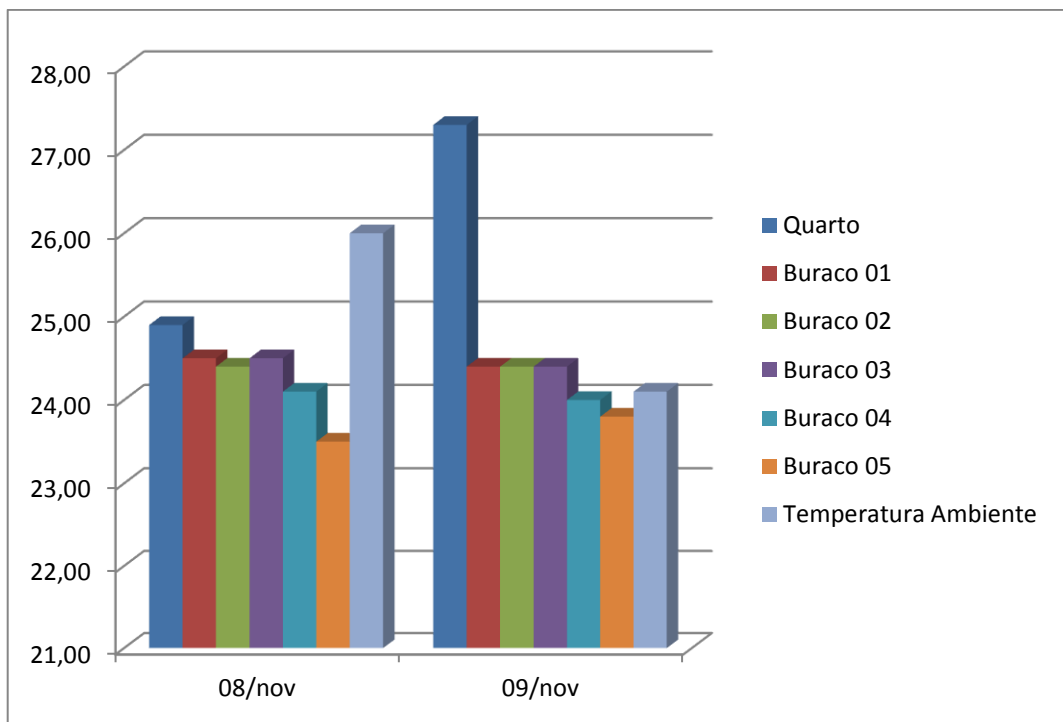
O ponto principal desse levantamento foi a temperatura dos furos, isso porque a temperatura se mostrou praticamente constante em todas as profundidades e entre elas se mostrou uma variação quase que insignificante. Então, conclui-se que a temperatura no estado de Goiás, especificamente - em Alexânia, se mostrou com variação mínima entre 0,5m a 2,50m, o que caracteriza uma ótima viabilidade, em que a trincheira não precisará ser mais profunda que isso, facilitando na execução e no orçamento do projeto.

**Gráfico 2- Relação da temperatura nos dias 06 e 07 de Novembro de 2017**



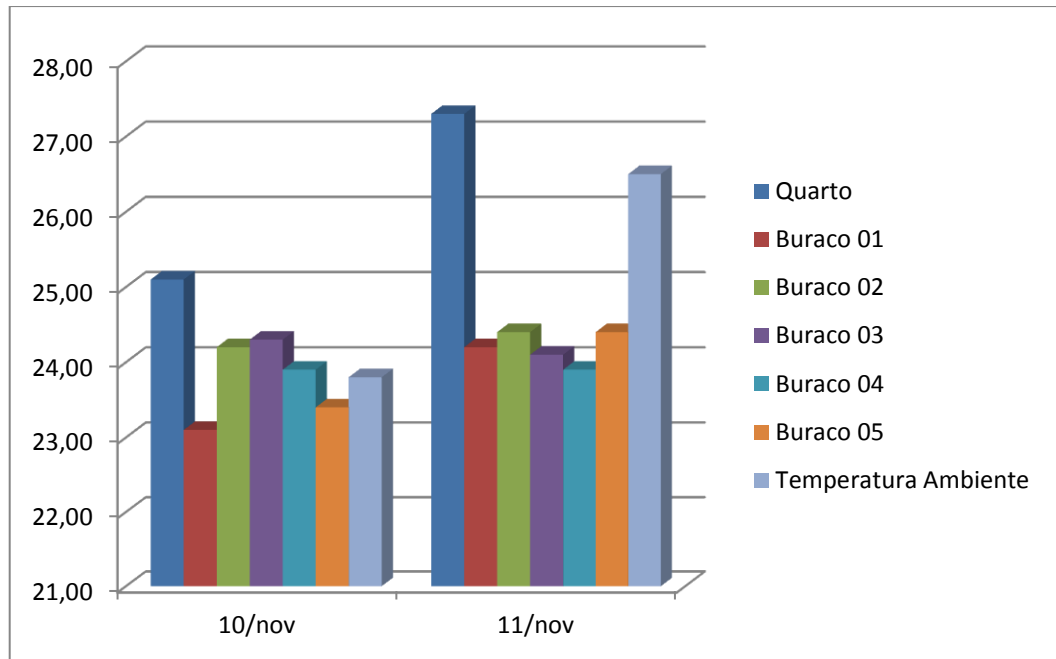
Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

**Gráfico 3- Relação da temperatura nos dias 08 e 09 de Novembro de 2017**



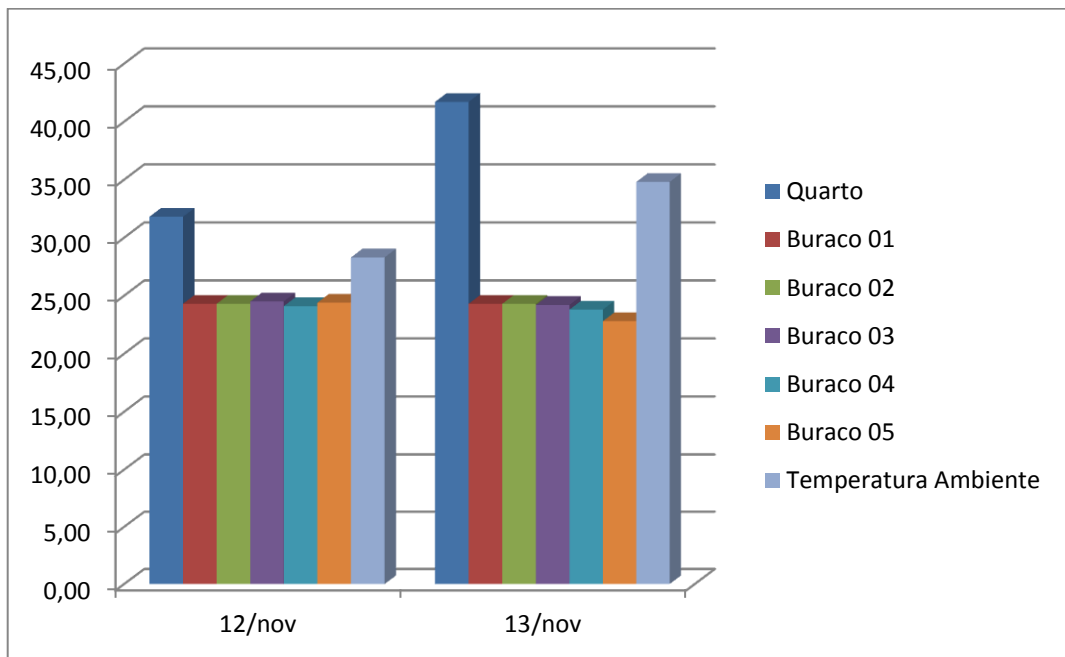
Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

**Gráfico 4- Relação da temperatura nos dias 10 e 11 de Novembro de 2017**



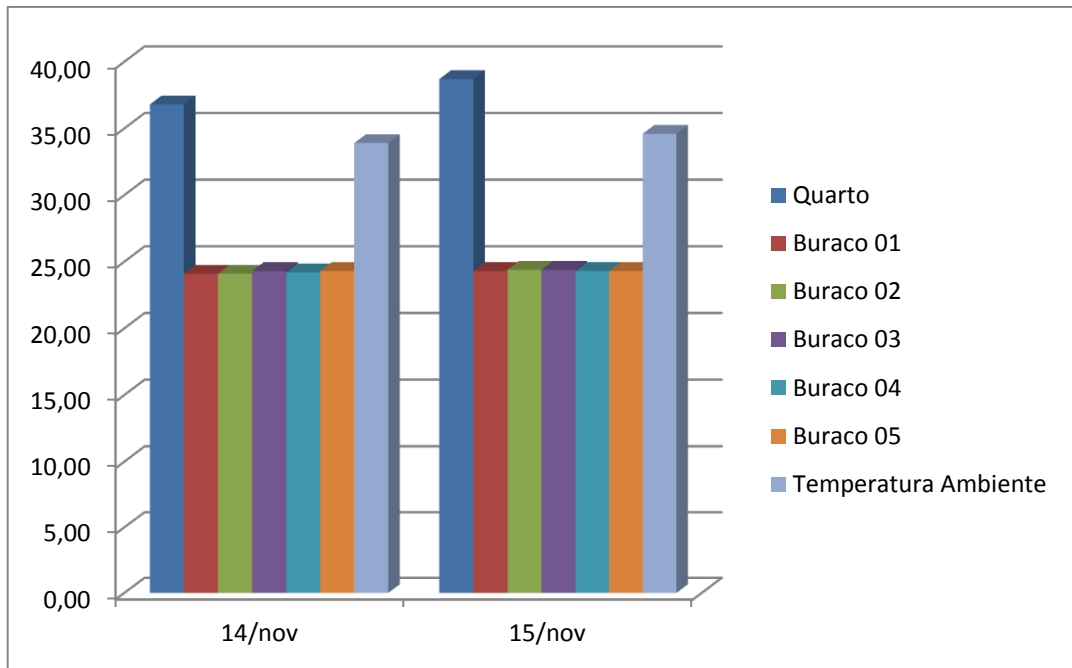
Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

**Gráfico 5- Relação da temperatura nos dias 12 e 13 de Novembro de 2017**



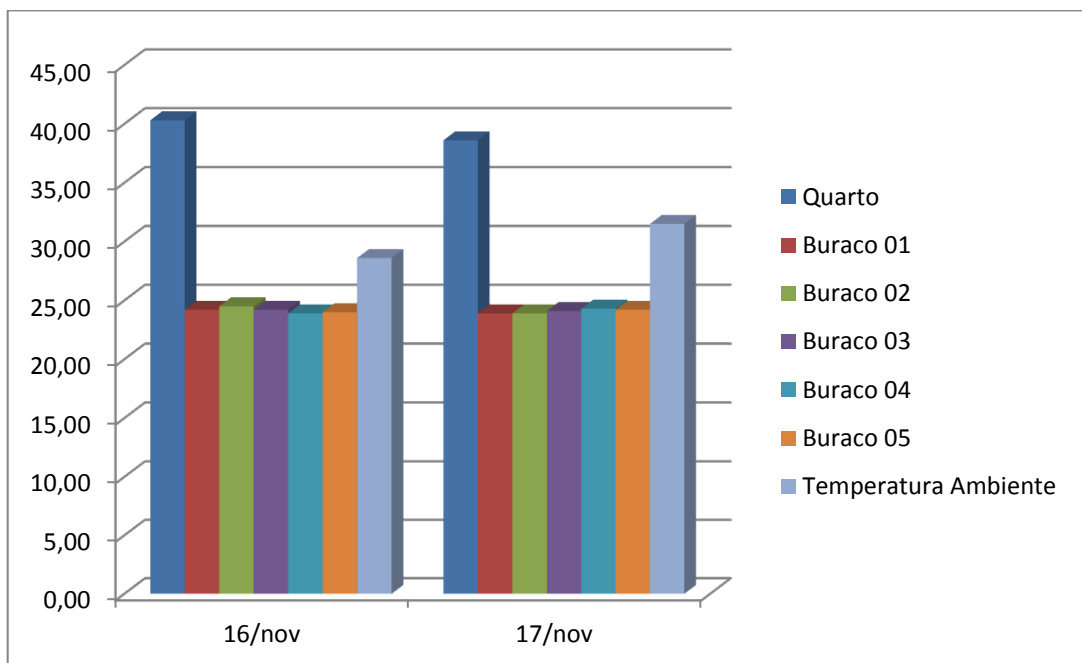
Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

**Gráfico 6- Relação da temperatura nos dias 14 e 15 de Novembro de 2017**



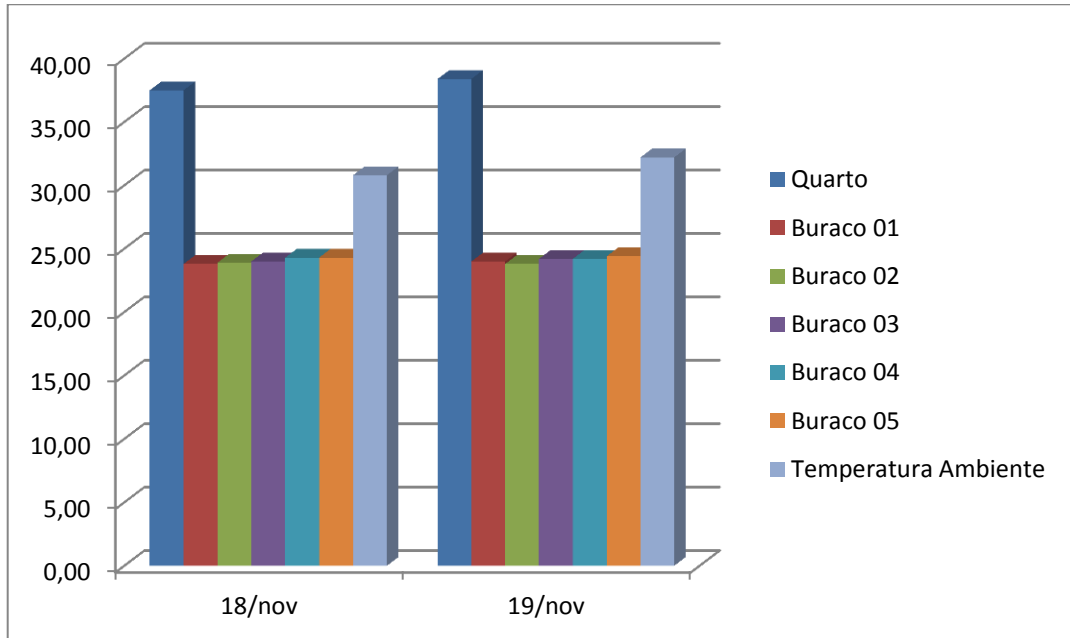
Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

**Gráfico 7- Relação da temperatura nos dias 16 e 17 de Novembro de 2017**



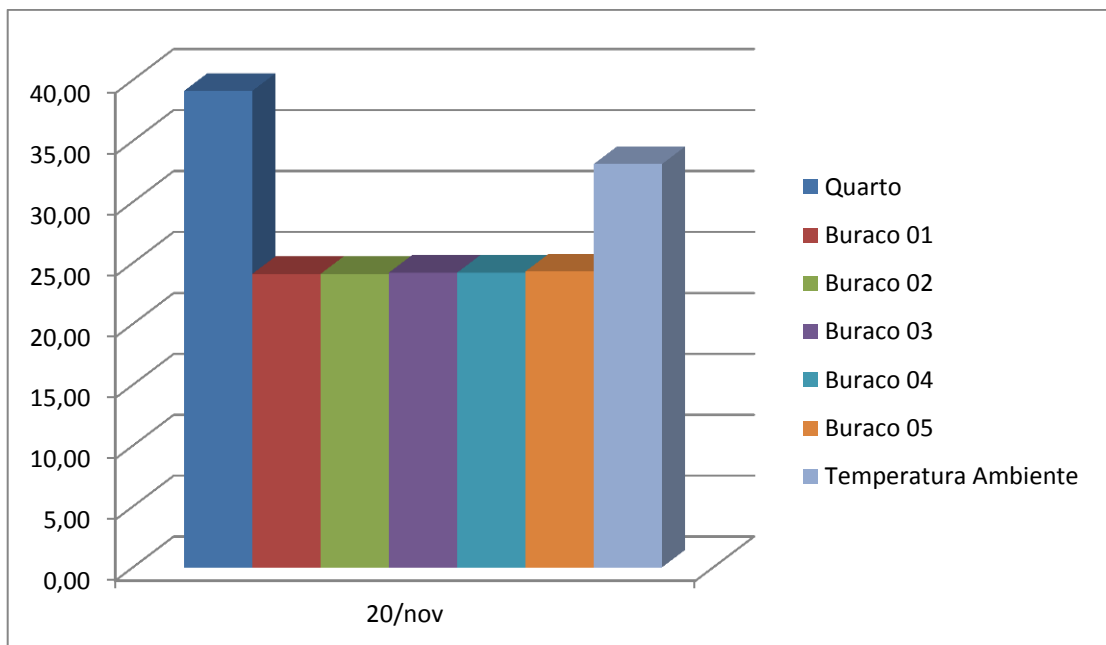
Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

**Gráfico 8- Relação da temperatura nos dias 18 e 19 de Novembro de 2017**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

**Gráfico 9- Relação da temperatura no dia 20 de Novembro de 2017**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

A relação de gráficos acima é um comparativo direto entre as temperaturas dos furos do quarto e da temperatura ambiente. E foram colocados expostos de dois em dois dias para melhor visualização. É possível analisar detalhadamente cada furo e sua variação e, assim,

reforçando que a temperatura em 0,5m de profundidade se manteve constante. Quando comparamos a temperatura do furo com a temperatura do quarto tem se uma variação que chega até 18,9°C. Cabe ressaltar, que variações tão grandes quanto essa não é frequente, mas podem vir a acontecer dependendo também do material utilizado na construção da edificação.

### 4.3 VALA

Após escolhida a melhor profundidade em relação custo-benefício, a fim de enterrar o tubo, foi feito uma vala de parede estreita como infere Bueno (2012), com dimensões aproximadas de: largura 0.15 metros, altura 0.50 metros (devido a melhor custo-benefício) e comprimento de 28,30 metros, onde foi colocado o tubo de PVC de 100 milímetros de diâmetro.

O comprimento total do tubo enterrado é de 30,00 metros, isso devido ao tubo ter que descer 0,5 metros até o nível da vala e depois para adentrar na casa subir 0,5 metros e 0,70 metros enterrados de forma superficialmente, ou seja, acima do nível do solo e assim caracterizando uma saliência positiva de 0,70 metros.

Após colocar os tubos e conexões, foi recolocada sobre o tubo a camada de terra retirada para fazer a vala e foi feito uma compactação do solo de modo a colocá-lo em total contato com o tubo para, assim - aproveitar toda a energia para troca de calor com o tubo e também com o ar. Cabe reforçar que, durante a compactação do solo sobre o tubo, deve-se respeitar o coeficiente de resistência do mesmo para que ele não sofra deformações e posteriores fissuras, ocorrendo perdas de energia e ineficiência do projeto.



**Foto 10 – Processo construtivo do protótipo**

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

#### 4.4 MATERIAIS UTILIZADOS

Para a confecção do projeto foram utilizados materiais de uso manual simples, ou seja, materiais de uso comum em construções conforme relação descrita no Quadro 3.

**Quadro 3- Material e Quantidade utilizada para desenvolvimento do sistema**

<b>Material Utilizado</b>	
<b>Quantidade</b>	<b>Material</b>
1	Boca de Lobo
1	Trado
2	Enxadas
1	Picareta
1	Pá
1	Alavanca
1	Enxadão
2	Pares de Luvas
1	Termômetro
1	Carrinho de Mão
30,00m	Cano PVC 100mm
5	Curvas de 90°
2	Ralos
1	Soprador de Folhas

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

#### 4.4.1 Descrição dos materiais

- Boca de Lobo- Foi utilizada para dar início a perfuração antes de se utilizar o trado, para poder fazer o levantamento do estudo da profundidade ideal.
- Trado- Para uniformizar e aumentar a profundidade dos cinco buracos realizados.
- Enxadas e Pá- Utilizadas para remover a terra que foi sendo retirada dos buracos e da vala e posterior relocação de mesma sobre o tubo.
- Picareta e alavanca- Utilizada para da inicio as perfurações.
- Enxadaõ- Utilizado para fazer a vala onde o cano se encontra.
- Luvas- Utilizado como EPI.
- Termômetro- Utilizado para verificar a temperatura dos buracos e do ambiente.

**Faixa de Medição:** - 50°C a + 70°C

**Exatidão:** +/- 1° para escala de -20°C a +50°C e +/- 2°C no restante da escala

**Resolução:** 0.1°C/°F

**Dimensões:** 60X39X14mm

**Cabo:** 2 metros

- Carrinho de mão- Utilizado no transporte de terra principalmente.
- Cano PVC- Utilizado como meio de condução de troca de calor Ar-Terra.
- Curvas de 90°- Utilizado para fazer a ligação entre os canos.
- Ralos- Utilizado na entrada e saída dos canos para evitar a entrada de bichos, e sujeiras.
- Soprador de Folhas- um dos principais equipamentos, utilizado como bomba de ar.

**Modelo:** BHX2500

**Motor:** 4 tempos

**Cilindrada:** 24,5CC

**Potência:** 0.82kW/1.1HP

**Carburador:** diafragma

**Tanque de combustível:** 520ml

**Velocidade do ar:** 64.6 m/s

**Figura 16 : Boca de lobo, Picareta, alavanca, Trado e Enxada Imagem**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

**Figura 17: Termômetro Incoterm**



**Fonte:**

<http://www.incoterm.com.br/tecnica/7424+02+1+00+termometro+digital+com+maxima+e+minima>, 2018

**Figura 18: Luvas**



Fonte: <http://americanaepi.com.br/raspa/07.jp>, 2018

**Figura 19: Canos**



**Fonte:**

<http://www.redemactrevo.com.br/site/imagens/stories/virtuemart/product/tubosegot> o.jpg, visita em 05/03/2018

Figura 20: Soprador de Folhas



Fonte:

[http://images4.tcdn.com.br/img/img\\_prod/219075/soprador\\_de\\_folhas\\_a\\_gasolina\\_4\\_t\\_75\\_6cc\\_bbx7600g\\_makita\\_68176\\_1\\_20160901111124.jpg](http://images4.tcdn.com.br/img/img_prod/219075/soprador_de_folhas_a_gasolina_4_t_75_6cc_bbx7600g_makita_68176_1_20160901111124.jpg), 2018

Figura 21: Curva de 90° em PVC



Fonte:

[https://www.algsistemas.com/14962-thickbox\\_default/curva-90-m-h.jpg](https://www.algsistemas.com/14962-thickbox_default/curva-90-m-h.jpg), 2018

#### 4.4.2 Custo

Quadro 4- Custo

Material Utilizado		
Quantidade	Material	Valor
	Mão de Obra	R\$ 200,00
2	Pares de Luvas	R\$ 20,00
1	Termômetro	R\$ 60,00
30,00 m	Cano PVC 100mm	R\$ 207,30
5	Curvas de 90°	R\$ 58,00
2	Ralos	R\$ 10,54
1	Soprador de Folhas	Descrito nas observações abaixo
1 L	Combustível	R\$ 3,89
TOTAL		R\$ 561,80

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Observações: materiais como enxada, enxadão, pá, carrinho de mão, alavanca, boca de lobo, trado e picareta, estão incluso na mão de obra, tendo em vista que a utilização desse material é temporário, então - foi contratada uma pessoa para prestar esse tipo de serviço. O soprador de folhas utilizado no trabalho foi uma parceria com uma loja local da cidade de Alexânia, mas o valor dele pra aquisição esta em torno de R\$ 500,00, como não foi necessário a aquisição, o valor não foi colocado na planilha e, assim, somente o custo do combustível utilizado.

## 5 CONCLUSÃO DO PROJETO

Nesse capítulo, vamos tratar dos resultados obtidos e seus comparativos. Os dados apresentados nesse capítulo tratam-se de análises feitas entre o período de 16 de abril de 2018 a 01 de maio de 2018. Foi analisada a temperatura ambiente, temperatura do quarto, temperatura na entrada do tubo enterrado, temperatura na saída do tubo enterrado e análise do quarto após 5 minutos do sistema ligado. O levantamento foi feito em horário de maior pico de insolação e elevada temperatura, entre 13h e 15h.

O Quadro 5 trata dos dados colhidos em campo para conclusão do trabalho. Os valores encontrados são referentes à temperatura em graus Celsius de cada lugar ou ambiente e, a seguir - o gráfico mostra o detalhamento da tabela.

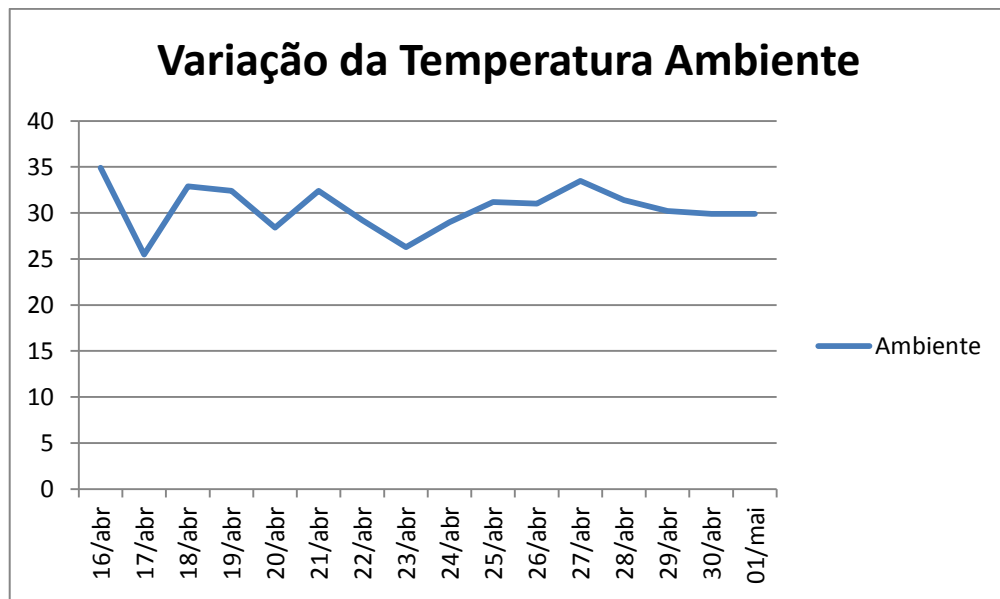
**Quadro 5- Temperaturas de ambientes e lugares**

Temperatura em alguns Ambientes e Situações					
Dia	Ambiente	Quarto	Entrada do Tubo	Saída do Tubo	Quarto após 5min
16/abr	34,9	33	32,5	24,8	26,4
17/abr	25,5	27,3	26,1	22,8	25,9
18/abr	32,9	26,1	25,1	22,9	23,8
19/abr	32,4	31,5	29,9	23,3	25,3
20/abr	28,4	30,2	28,7	23	26,7
21/abr	32,4	33,6	28,5	23	26,7
22/abr	29,2	31,2	27,5	23,7	25,9
23/abr	26,3	27,7	26,1	22,3	25,5
24/abr	29	31,3	29,1	23,1	25,6
25/abr	31,2	33	29,5	23	25,4
26/abr	31	33,2	30,1	22,8	26,3
27/abr	33,5	34,8	30,4	23,2	27,1
28/abr	31,4	33,5	29,8	23,1	26,3
29/abr	30,2	28,7	28,2	22,8	25,4
30/abr	29,9	31,8	29,6	22,9	25,7
01/mai	29,9	32,5	29,4	22,9	24,9

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

A cada dia, foi feita a análise da temperatura ambiente do local - onde está instalado o protótipo. A temperatura ambiente é um fator que muda de lugar para lugar e para ser mais preciso foi feita essa leitura em campo sempre em mesmos pontos de cada lugar. O gráfico 10 representam as variações no decorrer dos dias.

Gráfico 10 - Temperaturas ambiente

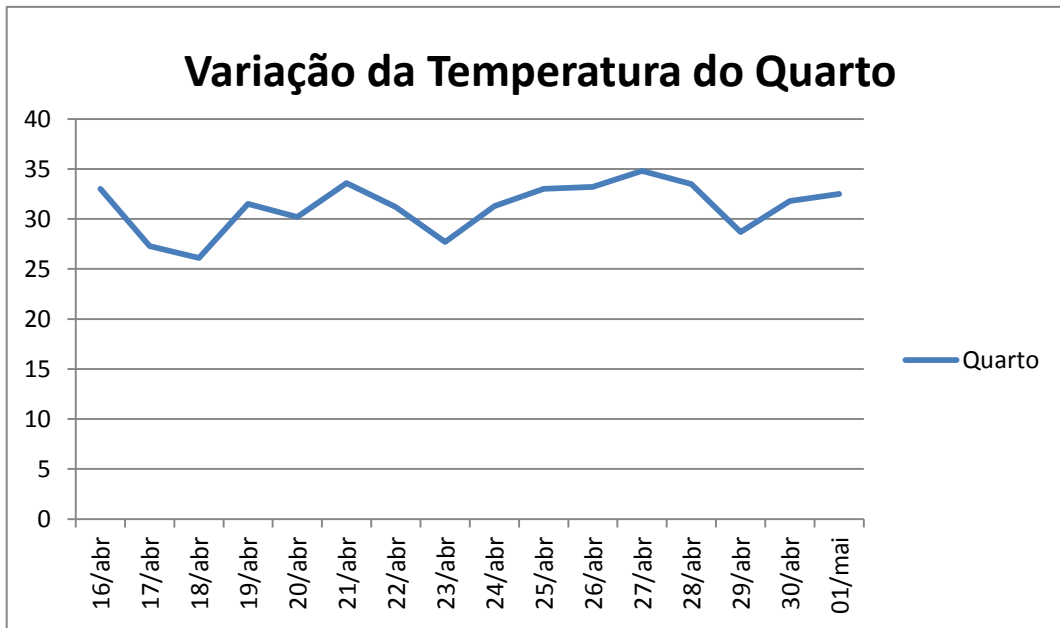


Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Ao analisar a temperatura ambiente e levarmos em consideração os dados apresentados no decorrer deste trabalho, conclui-se que a temperatura ambiente aferida *in loco* apresentou-se maior do que prevista para essa época do ano. A variação se manteve entre os 34,9 °C e 25,5 °C.

A temperatura do quarto se apresentou, na maioria das vezes, mais elevada do que as outras temperaturas analisadas, isso se deu porque o quarto analisado não tem nenhum tipo de cobertura a não ser o telhado de fibrocimento, o que torna o quarto abafado e relativamente com temperatura mais elevada. O gráfico em seguida representa a variação de temperatura no decorrer dos 16 dias analisados.

Gráfico 11- Temperatura do Quarto

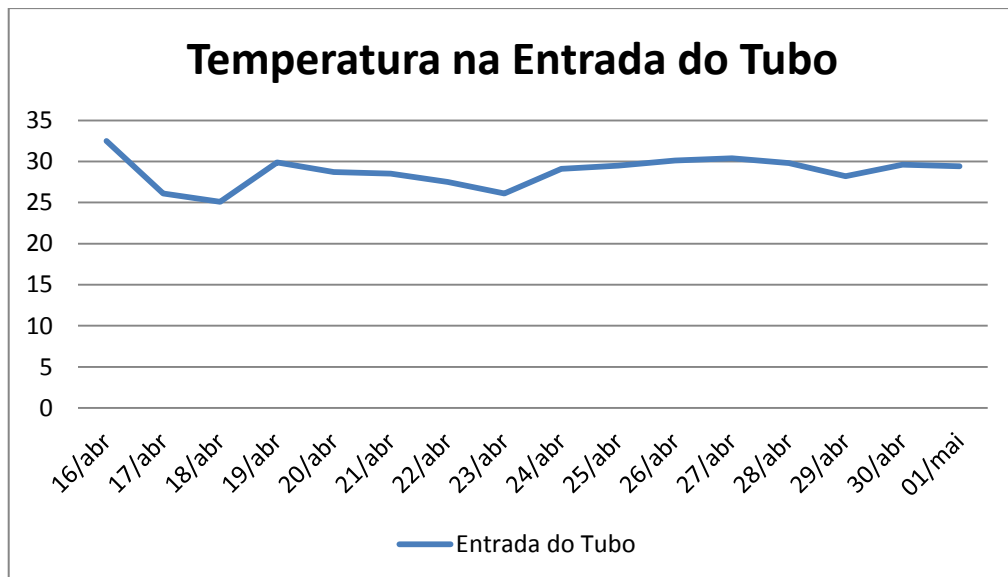


Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

A verificação da temperatura na entrada da tubulação se deu ao colocar a bomba de ar ligada no local de captação dos tubos enterrados e colher a temperatura que era produzida na interface entre o cano da bomba de ar e o início do tubo.

Saber a temperatura na entrada dos tubos enterrados se fez necessário para algumas comparações, como a diferença entre a temperatura do ar que entra e a que sai depois da troca de calor. O gráfico a seguir mostra a variação da temperatura de entrada durante os dias analisados.

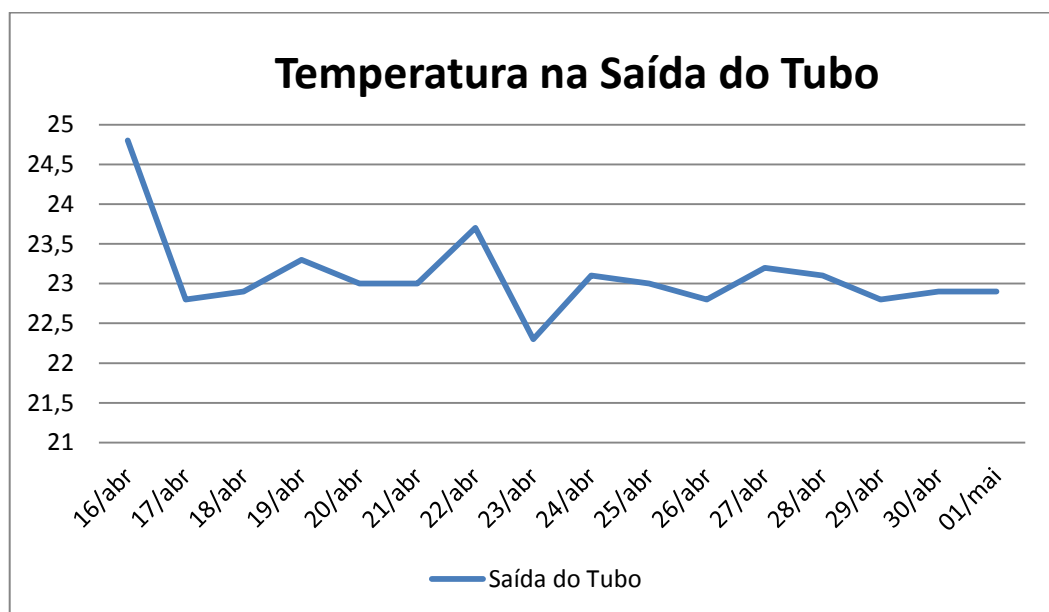
Gráfico 12- Temperatura na entrada do tubo



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

A temperatura do ar que sai da tubulação depois de efetuar as trocas de temperatura foi o fator mais importante para assim findar com êxito a conclusão do sistema. Ao lançar o ar através da bomba de ar e o mesmo percorrerem os 30,00 metros de tubulação, foi analisado que a temperatura que saiu dos tubos, teve uma diferença significativa quando comparados com as temperaturas interna do quarto antes do sistema estar ativado. Os gráficos a seguir representam a variação de temperatura durante os dias estudados.

Gráfico 13- Temperatura na saída do tubo



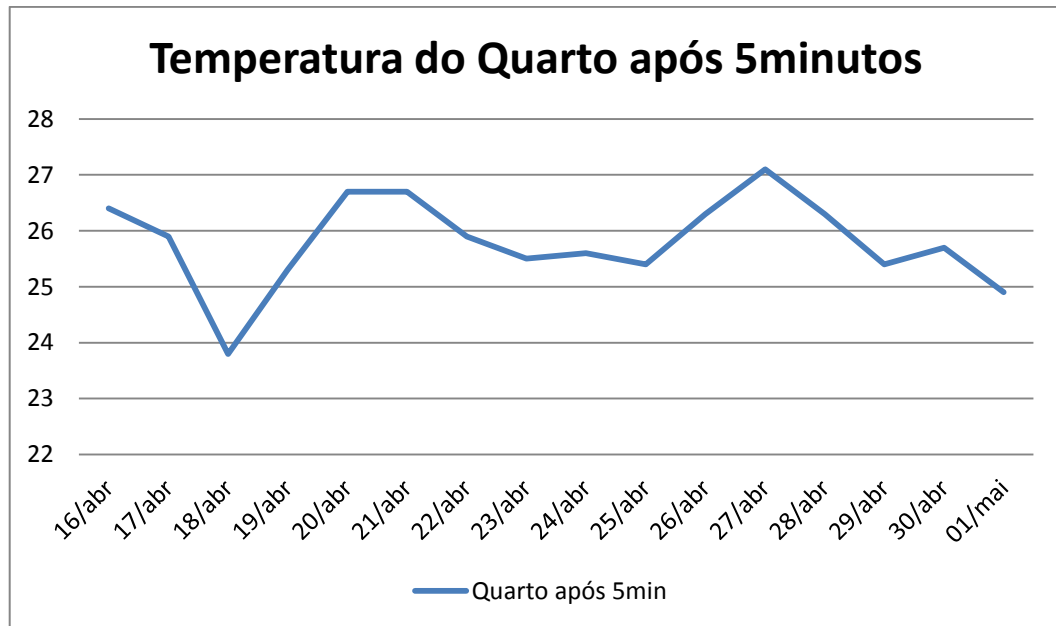
Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Como todo sistema, ele deve ser eficiente e não deve ter interferência em sua produção que ocasione perdas significativas e, portanto, uma das maiores preocupações no desenvolvimento do protótipo, a não eficiência do sistema para o local determinado ou uma eficiência não satisfatória, depois de alguns minutos do sistema funcionando - se extinguiu, ou seja, o receio de que a temperatura interna do tubo se igualasse com a temperatura ambiente, fazendo com que o sistema não se tornasse eficiente, foi extinta conforme os gráficos a seguir mostram a temperatura do quarto após 5 minutos do sistema funcionando.

A temperatura não foi medida nesse caso na saída do tubo e sim no interior do quarto. Foi visto que a temperatura de saída da tubulação se manteve abaixando até se manter constante. Os gráficos a seguir representam a variação da temperatura interna do quarto com o sistema funcionando por 5 minutos.



Gráfico 14- Temperatura no Quarto após 5 minutos do sistema ligado

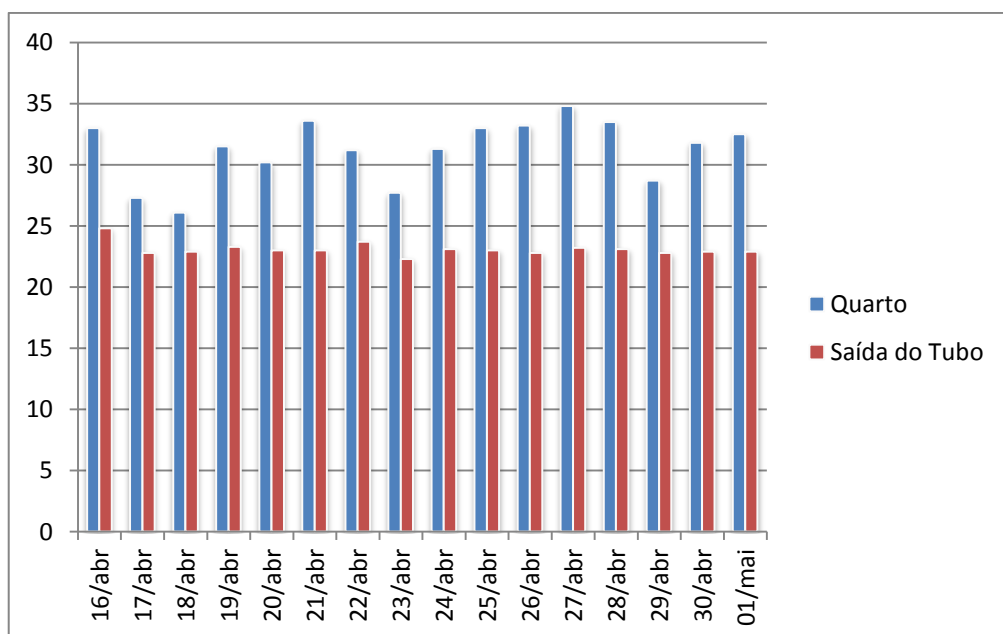


Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

## 5.1 COMPARATIVOS

Para elucidar a dimensão dos efeitos e da diferença trazida pelo sistema *Earth Tubes*, se torna indispensável algumas comparações. Os próximos gráficos trazem algumas comparações e, assim, asseguram a eficiência do sistema para o estado de Goiás.

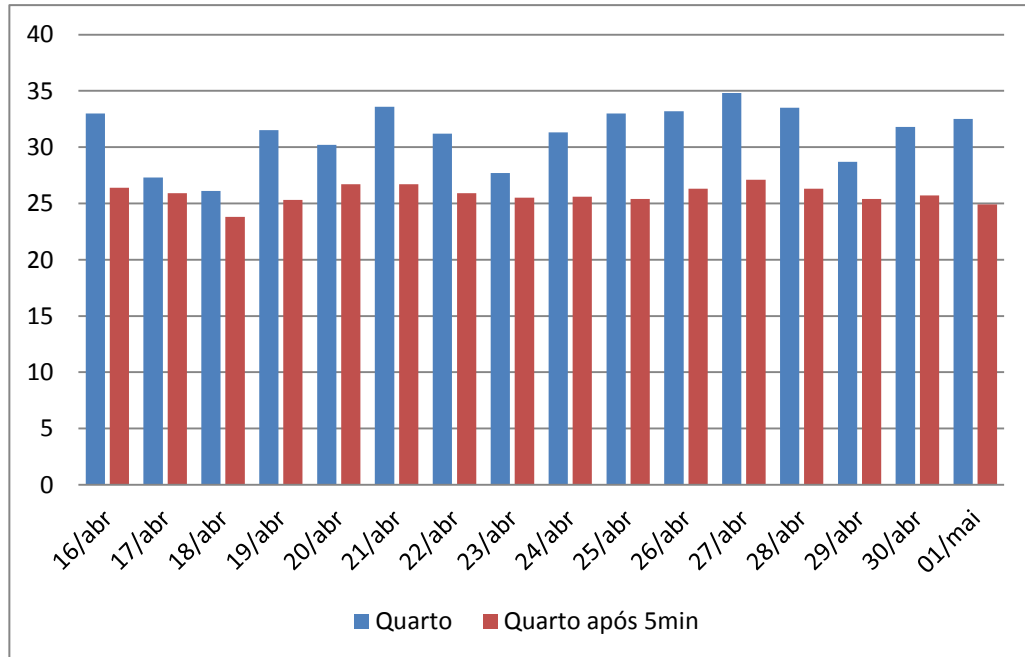
Gráfico 15- Diferença entre a temperatura do quarto e a de saída do tubo



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

Quando comparada a temperatura do quarto com a temperatura que sai da tubulação e com o sistema em funcionamento, a diferença chega a ser - de certa forma, discrepante, chegando a apresentar diferenças de mais de 10°C entre a entrada do tubo (ambiente externo) e a temperatura do cômodo (ambiente interno). Em dias com temperatura mais elevadas, essa diferença pode alcançar números ainda maiores.

**Gráfico 16- Diferença entre a temperatura do quarto e depois de 5 minutos do sistema ligado**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao se colocar em prova a eficiência do sistema *Earth Tubes* aplicada para região de Goiás, foram analisados um conjunto de fatores antes de decidir desenvolver o protótipo. Esses fatores que culminaram diretamente para o sucesso do sistema estão ligados ao clima, à diferença de temperatura, à temperatura do solo e, principalmente, a necessidade de criar um sistema eficaz e que seja de real necessidade para as futuras gerações e que remeta à sustentabilidade, tema abordado de forma veemente nas principais reuniões mundiais.

Como um dos principais objetivos desse trabalho era verificar a possibilidade de aplicação desse sistema na região goiana e ver o comportamento higrotérmico no quarto, no qual foi instalada a saída do tubo, foi de suma importância que o sistema fosse colocado à prova em situação de maior estresse possível, ou seja, era vital para a sua total ratificação que ele respondesse de forma eficiente mesmo nas mais adversas condições. Portanto, ao se analisar as diferenças de temperatura, foram levadas em consideração as temperaturas em dias mais quentes possíveis para ver o real desempenho higrotérmico proporcionado pelo protótipo e certificar o seu funcionamento com eficiência aceitável.

Pelas informações e dados coletados durante os períodos de testes iniciais – escavação e aferição das temperaturas dos buracos e temperatura ambiente – já se podia antever que as chances de sucesso seriam grandes, o que pode ser acompanhado e comprovado durante as etapas subsequentes, o que neste caso foi comprovado que o sistema é e pode vir a ser utilizado na busca por sistemas que somem à eficiência energética pois, o sistema caberia de forma sustentável e viável para o município de Alexânia e para a grande parte do estado de Goiás o que, se não resolvesse problemas de condicionamento por completo de edificações, seria uma grande soma à economia de energia quando utilizado de forma conjunta a outros aparelhos de condicionamento.

### 6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros e ligados diretamente ao protótipo desenvolvido em Alexânia Goiás, são sugeridas alguns temas distintos, mas que melhoraria e aperfeiçoaria o sistema.

- (a) Utilizar como bomba de ar o método de chaminé ou um exaustor, utilizando-se de energia solar para se utilizar forma mais sustentável ao desenvolver o sistema.
- (b) A cobertura seria uma boa opção para estudos, verificar os efeitos com diferentes tipos de cobertura tanto no terreno , para diminuir a ação do sol sobre a acamada

do solo, neste caso, a implantação de uma cobertura verde de grama ou de arbustos pequenos poderia gerar resultados ainda mais satisfatórios, quanto efetuar uma forração (laje, PVC, gesso) da edificação para diminuir o chamado efeito estufa.

- (c) Analisar em demais períodos e estações climáticas já que é sabido que devido a inércia do solo em armazenamento de energia, o sistema funciona também para o condicionamento térmico em que as temperaturas estão abaixo do aceitável fazendo com que, ao realizar a troca de calor com o solo ele aqueça o ambiente.

## 7 REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR6502 (1995), 16401-1 (2008), ABNT (1980),

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA

BRASIL GERADOR DE PREÇOS. INSTALAÇÕES. DRENAGEM DE ÁGUAS. CONDUTAS DE ADMISSÃO E EXTRAÇÃO. **Duto Geotérmico permutador de calor.** Disponível

em: [http://www.brasil.geradordeprecos.info/obra\\_nova/Instalacoes/Drenagem\\_de\\_aguas/ISV\\_Conduitas\\_de\\_admissao\\_e\\_extraca/ISV500\\_Duto\\_geotermico\\_permutador\\_de\\_calor.html](http://www.brasil.geradordeprecos.info/obra_nova/Instalacoes/Drenagem_de_aguas/ISV_Conduitas_de_admissao_e_extraca/ISV500_Duto_geotermico_permutador_de_calor.html).> Acesso em 10 de novembro de 2017.

BUENO, B; COSTA, Y. **Dutos enterrados: Aspectos Geotécnicos.** 2.ed. São Paulo: Oficina de textos. 2012.

CORBELLA, O; YANNAS, S. **Em busca de uma Arquitetura sustentável para os trópicos: Conforto ambiental.** 2.ed. Rio de Janeiro: Editora Revan. 2009.

CUNHA, E. G. et al. **Elementos de arquitetura de climatização natural.** 2.ed. Porto Alegre: Editora masquatro, 2006.

ENGENHARIA E ARQUITETURA. **Resfriamento e aquecimento geotérmico,** 2013. Disponível em: <<http://www.engenhariae arquitetura.com.br/noticias/883/Resfriamento-e-aquecimento-geotermico.aspx>.> Acesso em 10 de Novembro de 2017.

FRANÇA, S. R. P. **Simulação Visando a Ventilação de Residências Através de Tubos Enterrados.** Monografia (Bacharel em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

GRITTI, G. C. M.; LANDINI, M. C. **Construção Sustentável: Uma opção racional.** Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade São Francisco. Itatiba, 2010.

HORBACH, C. S. **Estudo de Sistemas de Ventilação por Tubos Enterrados.** Monografia (Bacharel em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

MUSSKOPF, D. B. **Estudos Exploratórios sobre Ventilação Natural por Tubos Enterrados.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

VAZ, Joaquim. 2011. **Estudo experimental e numérico sobre o uso do solo como reservatório de energia para o aquecimento e resfriamento de ambientes edificados.** Joaquim, 2011. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. [Orientador: Prof. PHD. Miguel Aloysio Sattler].

MÜLLER, D. G. **Arquitetura ecológica.** 8.ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2010.

PESQUISA UNIFICADA. **Energia geotérmica**. Disponível em: < <http://www.pesquisa-unificada.com/pesquisas/energia-geotermica/historia-da-energia-geotermica/> > Acessado em 15 de Novembro de 2014.

PINTO, C. S. et al. **Fundações: Teoria e prática**. 2.ed. São Paulo: Editora Pini Ltda, 2012.

PORTAL GAGEL. **Earth Tubes**. Disponível em:  
< <http://www.gagel.com/assets/geothermalimages/ELTloops.jpg> > Acesso em 30 de outubro de 2017.

PORTAL SÃO FRANCISCO. **Tipos de solo**. Disponível em:  
< Fonte: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/meio-meio-ambiente/tipos-de-solo> > Acesso em 10 de novembro de 2017.

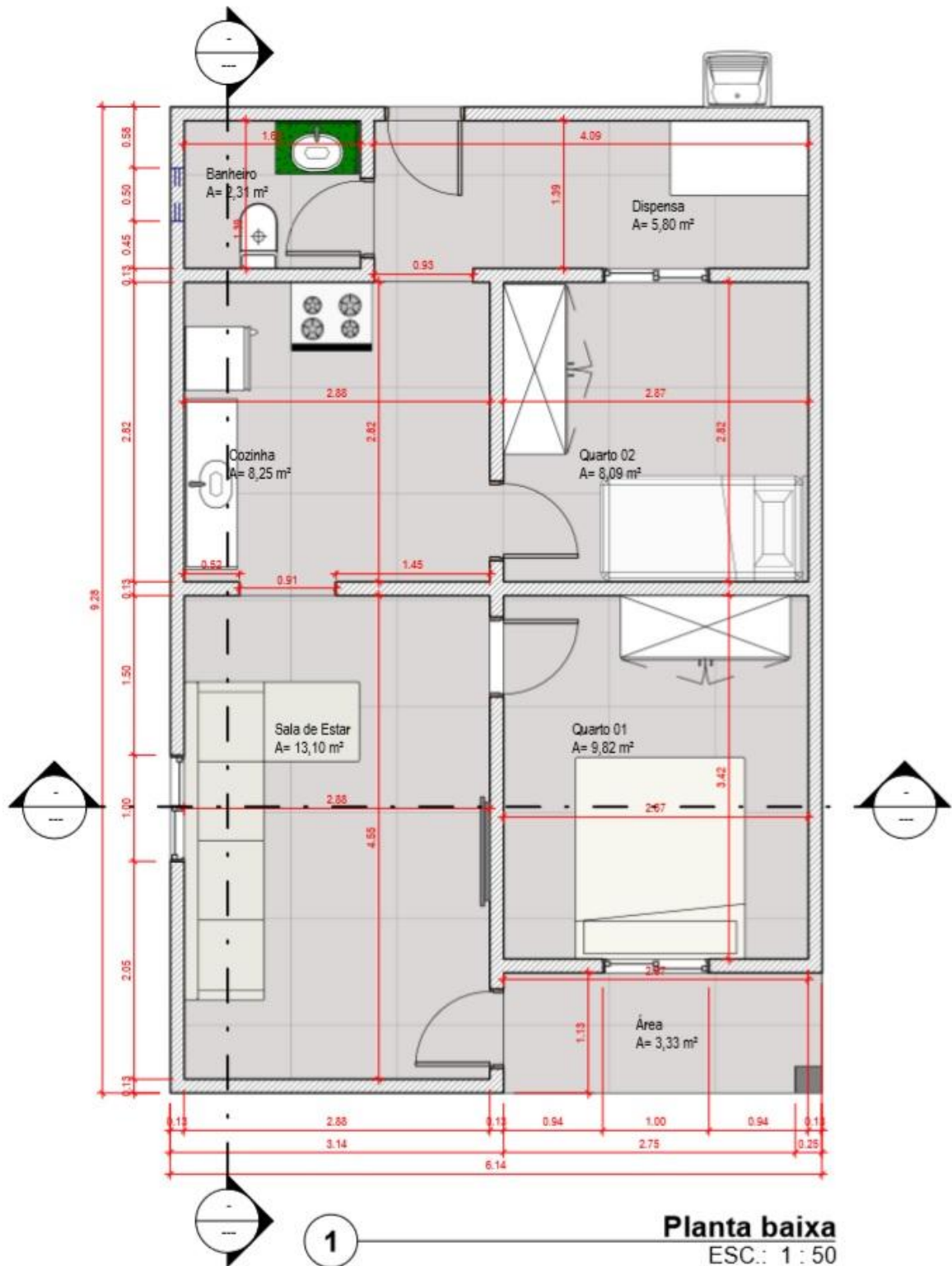
RESERACHGATE. **Resfriamento com tubos**. Disponível em  
< [https://www.researchgate.net/publication/308740876\\_ESTUDO\\_DO\\_DESEMPENHO\\_DE\\_SISTEMA\\_DE\\_RESFRIAMENTO\\_COM\\_TUBOS\\_ENTERRADOS\\_EM\\_AMBIENTE\\_NA\\_ZONA\\_BIOCLIMATICA\\_21](https://www.researchgate.net/publication/308740876_ESTUDO_DO_DESEMPENHO_DE_SISTEMA_DE_RESFRIAMENTO_COM_TUBOS_ENTERRADOS_EM_AMBIENTE_NA_ZONA_BIOCLIMATICA_21) > Acessado em 15 de Novembro de 2017.

SIMPLESOLARHOME. **Earth Tubes**. Disponível em:  
< <http://www.simplesolarhomes.com/passive-cooling-and-heating-earth-tubes.html> >  
Acessado em 15 de novembro de 2017.

YAZIGI, W. **A técnica de edificar**. 14.ed. São Paulo: Pini: Sinduscon, 2014.

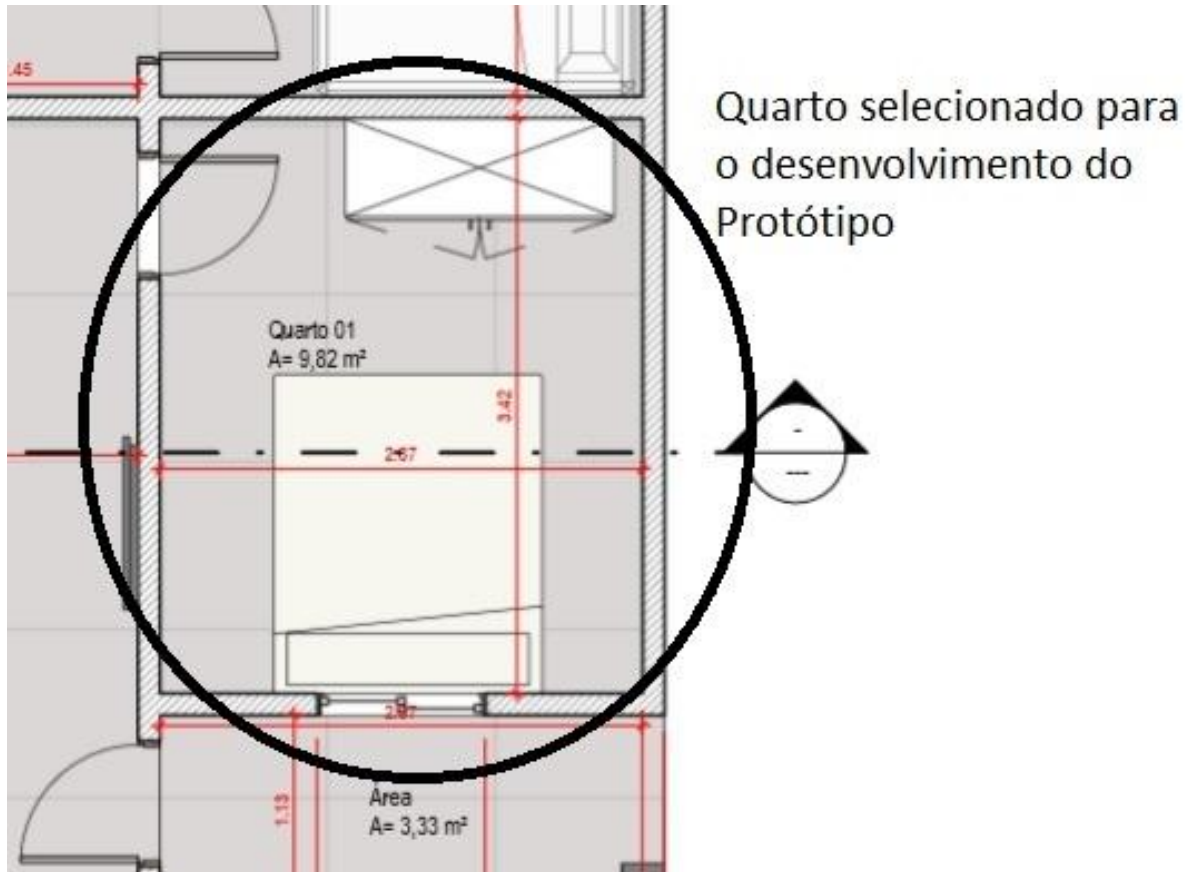
## 8 ANEXOS

## Anexo 01- Planta baixa



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

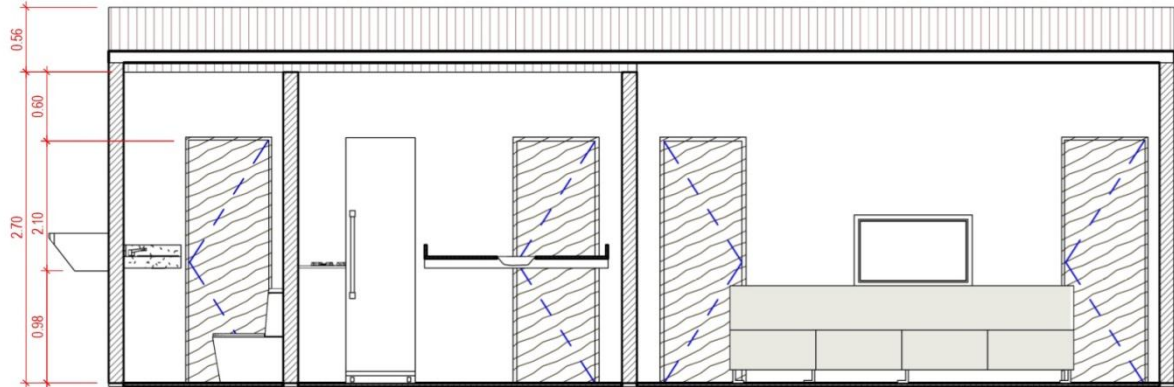
### Anexo 02- Quarto onde o sistema foi instalado



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018



### Anexo 03- Corte A-A

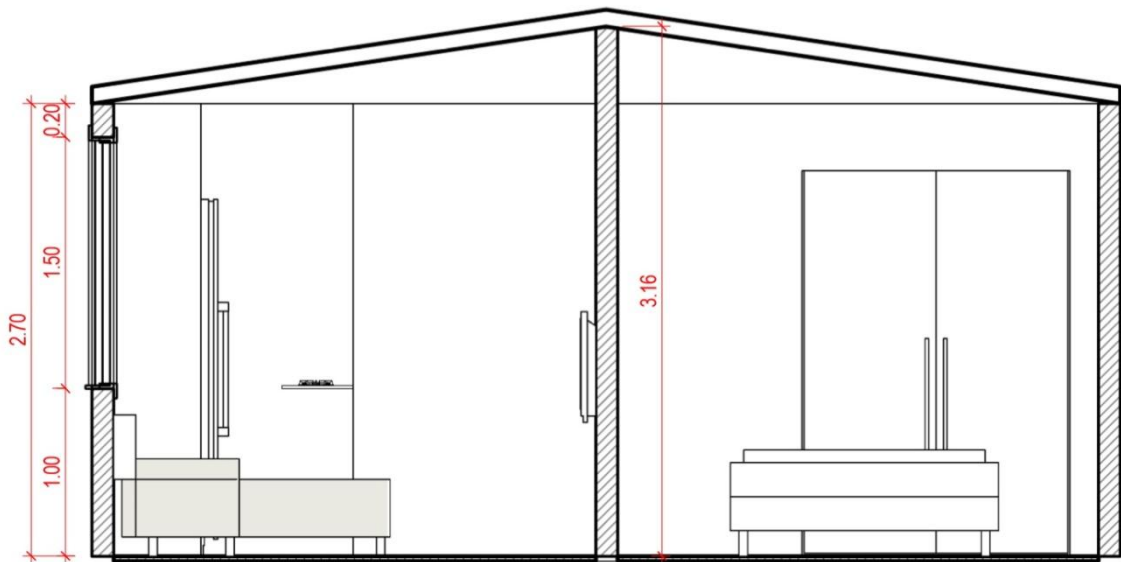


1

**Corte 00**  
ESC.: 1 : 50

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

### Anexo 04- Corte B-B



1

**Corte 01**  
ESC.: 1 : 50

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2018

