



**MARIANA REIS COSTA**  
**TAYNAN ALMEIDA VIEIRA**

**PROPOSTA DE MELHORIA DO CONTROLE DE  
TEMPERATURA DE UMA CASA DE VEGETAÇÃO SITUADA  
NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS POR MEIO DE  
MODELAGEM DO ESCOAMENTO DE AR**

**LAVRAS – MG**

**2020**

**MARIANA REIS COSTA**  
**TAYNAN ALMEIDA VIEIRA**

**PROPOSTA DE MELHORIA DO CONTROLE DE TEMPERATURA DE UMA CASA  
DE VEGETAÇÃO SITUADA NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS POR  
MEIO DE MODELAGEM DO ESCOAMENTO DE AR**

Concepção básica apresentada à  
Universidade Federal de Lavras, como  
parte das exigências do Curso de  
Engenharia de Controle e Automação, para  
obtenção do título de Bacharel.

Prof. Roney Alves da Rocha

Orientador

Prof. Dimitri Campos Viana

Coorientador

**LAVRAS – MG**

**2020**

**MARIANA REIS COSTA  
TAYNAN ALMEIDA VIEIRA**

**PROPOSTA DE MELHORIA DO CONTROLE DE TEMPERATURA DE UMA CASA  
DE VEGETAÇÃO SITUADA NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS POR  
MEIO DE MODELAGEM DO ESCOAMENTO DE AR**

**IMPROVEMENT PROPOSAL IN TEMPERATURE CONTROLE IN A  
GREENHOUSE SITED IN THE FEDERAL UNIVERSITY OF LAVRAS BY THE AIR  
FLOW MODELING**

APROVADA em: 04 de setembro de 2020.

Prof. Dimitri Campos Viana	UFLA
Prof. Leonilson Kiyoshi Sato de Herval	UFLA
Paula Giarolla Silveira	UFLA
Prof. Roney Alves da Rocha	UFLA
Silvio Antônio Calazans de Freitas	UFLA

Prof. Roney Alves da Rocha

Orientador

Prof. Dimitri Campos Viana

Coorientador

**LAVRAS – MG**

**2020**

*Dedico aos meus pais e irmãos, que são a minha base e me dão forças para conquistar os meus sonhos.*

*Mariana.*

*Dedico aos meus pais Celso e Clenilda, os quais sempre foram porto seguro e direção para meus passos.*

*Taynan.*

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Deus criador, que nos permitiu tamanho privilégio assim como de formas misteriosas nos deu forças ao longo do caminho percorrido.

À Universidade Federal de Lavras pela estrutura e oportunidades concedidas.

Ao Departamento de Automática, o qual nos forneceu embasamento e infraestrutura para enfrentarmos o desafio de nos tornarmos bons profissionais.

A todos os professores, técnicos e funcionários do Departamento de Automática assim como os de toda Universidade Federal de Lavras, em especial ao Técnico Silvio, do Departamento de Fitopatologia.

Ao Prof. Roney Alves da Rocha, que com sua serenidade e bom humor esteve presente durante essa fase tão importante.

Ao Prof. Dr. Dimitri Campos Viana por também nos orientar e nos fazer compreender a importância do papel bem feito de um Engenheiro de Controle e Automação.

Aos núcleos de estudo Wetech, TROIA, ZEUS e ROMA por toda experiência proporcionada.

Aos amigos e colegas de curso que de forma direta ou indireta ajudaram na edificação das pessoas que somos hoje. Agradecemos por todo o companheirismo e compreensão ao longo dos anos, bem como durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos meus pais Silvia e Wasley, por serem fonte inesgotável de amor, sabedoria e coragem. Agradeço por sempre me incentivarem a ir atrás das realizações dos meus sonhos. Aos meus irmãos Gabriel e Maria Clara, que mesmo novos me ensinam diariamente sobre união, humildade, resiliência e pela troca de carinho.

Aos meus avós, por serem exemplo de superação e inspiração para ser melhor, aos meus familiares e amigos que sempre estiveram presentes ou em orações, vocês são a base e a soma da pessoa a qual me tornei hoje.

À República Culpa das Stellas, por serem, além de lar, uma família. Obrigada pelo apoio incondicional nos momentos que pensei em desistir, por terem acreditado em mim e compartilhado todos os momentos, principalmente as conquistas.

Mariana.

Agradeço aos meus pais Celso e Clenilda, onde em meu pai encontrei minha vocação e paixão pela engenharia, e em minha mãe a resiliência, sabedoria e a serenidade para alcançar meus objetivos.

À minha namorada Maria Gabriela, por ser paciente e compreensiva nos momentos de dificuldades, me ensinando que a capacidade de mudar e melhorar está presente no coração de cada um de nós.

Aos meus irmãos de outra mãe que a Republica Kana Sutra me proporcionou, me ajudando compreender a importância da hierarquia e que todos os degraus desta trazem consigo valiosas lições, bem como as risadas, as conversas e a total parceria ao longo dos anos.

Taynan.

*“Os que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino.” (Leonardo da Vinci)*

## RESUMO

A realização desse trabalho teve como objetivo a proposta da implementação de um sistema de controle automatizado de temperatura, utilizando um Controlador Lógico-Programável (CLP) em uma casa de vegetação situada no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA), pois a mesma se encontra com dificuldade em manter o controle de temperatura eficiente em dias muito quente e com isto, foi feita uma análise econômica sobre esta proposta. À princípio, foi criado um modelo virtual em escala real da casa de vegetação utilizando o software Ansys CFX, por meio do qual foi realizada a simulação de como ocorre a transferência de calor no interior da casa de vegetação. A partir dessa simulação, foi realizada uma análise acerca da quantidade de zonas de calor presentes dentro da instalação, sendo que duas foram detectadas como principais, pois possuem grande influência no controle de temperatura. Sendo assim, foi possível quantificar os sensores necessários a serem instalados dentro da casa de vegetação e em outros pontos de influência. As simulações foram utilizadas também para a validação de novos motores indicados como opções de economia de energia e melhoria no desempenho dos exaustores. Um levantamento de todo o material necessário para a implementação do projeto foi orçado, bem como o valor de toda a mão-de-obra investida. Com o orçamento e estimativa de cenários onde a mão-de-obra relacionada à manutenção seria poupada, e de posse da economia gerada pelos novos exaustores, foram aplicados três indicadores econômicos: VPL, Payback e TIR. Embora os indicadores apontem a inviabilidade econômica do investimento, os benefícios indiretos da implementação do projeto ainda apresentam vantagens significativas do sistema para a instituição, como por exemplo: melhora da qualidade e quantidade da produção em estudo; possível expansão da automatização da casa de vegetação; Controle eficiente das variáveis desejadas entre outros.

**Palavras-chave:** Análise econômica. Automação. Casa de Vegetação. Controle de temperatura. Dinâmica Computacional dos Fluidos.

## ABSTRACT

The purpose of this work was to propose the implementation of an automated temperature control system, using a Programmable-Logic Controller (PLC) in a greenhouse located on the campus of the Federal University of Lavras (UFLA), because it is finding it difficult to maintain efficient temperature control on very hot days and with this, an economic analysis was made on this proposal. At first, a full-scale virtual model of the greenhouse was created using the Ansys CFX software, through which the simulation of how heat transfer occurs inside the greenhouse was performed. From this simulation, an analysis was carried out on the number of heat zones present inside the installation, two of which were detected as the main ones, as they have great influence on temperature control. Thus, it was possible to quantify the necessary sensors to be installed inside the greenhouse and in other points of influence. The simulations were also used to validate new engines indicated as options for saving energy and improving the performance of exhaust fans. A survey of all the material necessary for the implementation of the project was budgeted, as well as the value of all the labor invested. With the budget and estimation of scenarios where the labor related to maintenance would be saved, and in possession of the savings generated by the new exhaust fans, three economic indicators were applied: NPV, Payback and IRR. Although the indicators point to the economic infeasibility of the investment, the indirect benefits of implementing the project still present significant advantages of the system for the institution, such as: improving the quality and quantity of the production under study; possible expansion of greenhouse automation; Efficient control of the desired variables among others.

**Keywords:** Economic analysis. Automation. Greenhouse. Temperature control. Computational Fluid Dynamics.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Diagrama esquemático do sistema de controle de temperatura atual. ....	19
Figura 2 - Exemplo de malha computacional da casa de vegetação em estudo, obtida por meio do <i>software</i> Ansys CFX R18.1. ....	22
Figura 3 - Resultado da simulação de transferência de calor no plano XY.....	23
Figura 4- Diagrama de fluxo de dados. ....	25
Figura 5 - Distribuição de temperatura com o <i>Munters Drive</i> . ....	30

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Prelúdio da Análise Econômica .....	28
Tabela 2 - Custo de aquisição dos equipamentos .....	29
Tabela 3 - Estimativas para o tempo de funcionamento dos exaustores ao longo do ano, em quatro diferentes cenários, mas sempre considerando que os acionamentos ocorrem no período entre 11 e 18 horas .....	32
Tabela 4 - Estimativas para a despesa financeira atralada ao consumo energético dos exaustores ao longo do ano, para os quatro diferentes cenários propostos na Tabela 3 .....	33
Tabela 5 - Fluxo de caixa estimado ao longo de dez anos para os quatro cenários propostos na Tabela 3.....	34
Tabela 6 - Resultados obtidos a partir da aplicação dos três métodos de viabilidade econômica apresentados sobre os quatro cenários técnicos propostos anteriormente, levando em consideração duas diferentes taxas mínimas de atratividade .....	35

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBO	Classificação Brasileira de Ocupações
CFD	<i>Computational Fluid Dynamics</i>
CLP	Controlador Lógico-Programável
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
CV	Cavalo vapor
E/S	Entradas e Saídas
GM	<i>General Motors</i>
MG	Minas Gerais
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
PV	<i>Present Value</i>
SC	Santa Catarina
TIR	Taxa interna de retorno
TMA	Taxa mínima de atratividade
TIC	<i>Temperature Indicator Controller</i>
UFLA	Universidade Federal de Lavras
VPL	Valor presente líquido

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

$C_3$	Carbono 3
$\nu$	Viscosidade cinemática
$\vec{V}$	Velocidade do fluido
$\rho$	Densidade do fluido
$\vec{\nabla}$	Operador gradiente
$P'$	Pressão modificada
$\Delta E_{acu}$	Varição da energia acumulada
$E_{ent}$	Energia entrando no sistema
$E_{sai}$	Energia saindo do sistema
$E_g$	Energia gerada
W	Watts
kWh	Kilowatt por hora
$PMT$	Fluxo estimado de caixa
$r^*$	Taxa interna de retorno
R\$	Reais
$C$	Consumo
$P$	Potência mecânica do motor
$FC$	Fator de conversão de cavalo vapor para kilowatts
$\eta$	Eficiência do motor
$t$	Tempo de funcionamento
$V_n$	Valor gasto para o regime de funcionamento $n$
$C_p$	Consumo em horário de ponta
$C_{fp}$	Consumo fora do horário de ponta
$CO_2$	Dióxido de carbono

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Identificação do Problema</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2</b>	<b>Análise de Alternativas</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Controle de temperatura através do TIC</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Dinâmica computacional de fluidos no dimensionamento do controle</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Sistema de controle de temperatura por meio de CLP</b> .....	<b>23</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Substituição de motores AC por motores eletrônicos</b> .....	<b>25</b>
<b>3</b>	<b>ANALISE DE VIABILIDADE ECONOMICA</b> .....	<b>27</b>
<b>3.1</b>	<b>Métodos para estimar a viabilidade econômica</b> .....	<b>27</b>
<b>3.2</b>	<b>Levantamento dos custos do projeto</b> .....	<b>28</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Materiais necessários</b> .....	<b>28</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Horas de engenharia</b> .....	<b>29</b>
<b>3.3</b>	<b>Levantamento de benefícios</b> .....	<b>29</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Benefícios da automatização com o uso do CLP</b> .....	<b>29</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Benefícios da substituição dos motores AC por motores DC (Munters Drive)</b> .....	<b>30</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Estimativa de economia de energia elétrica e seu impacto financeiro</b> .....	<b>31</b>
<b>3.4</b>	<b>Resultados referentes a análise econômica</b> .....	<b>33</b>
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>36</b>
<b>4.1</b>	<b>Conclusão</b> .....	<b>36</b>
<b>4.2</b>	<b>Recomendações para trabalhos futuros</b> .....	<b>36</b>
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>37</b>
	<b>ANEXO A</b> .....	<b>39</b>
	<b>ANEXO B</b> .....	<b>40</b>
	<b>ANEXO C</b> .....	<b>41</b>
	<b>ANEXO D</b> .....	<b>42</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história da agricultura, fatores meteorológicos sempre se mostraram como limitadores ou até mesmo inviabilizadores para a produção de determinadas culturas. Países de clima frio ou apenas de inverno rigoroso encontraram a solução para estes empecilhos por meio da implementação de estufas, isto é, estruturas revestidas geralmente de material translúcido, como vidros e plásticos, que permitem a absorção de radiação solar e a contenção da mesma no interior da estrutura, ocasionando em aumento da temperatura interna. Desse modo, a estufa se caracteriza como uma alternativa para resolução de problemas relacionados ao clima frio e a outras interferências climáticas, como geada, granizo, excesso de chuvas e até mesmo lixiviação do solo (OLIVEIRA,1995)

Com o passar do tempo e com a evolução tecnológica, as estufas que até então eram utilizadas para a obtenção de um ambiente propício para o plantio quando o fator crucial eram as baixas temperaturas, receberam melhorias e aperfeiçoamentos em toda a sua estrutura. De acordo com Teruel (2010), na década de 1950 surgiram as primeiras Casas de Vegetação, apresentando controle da temperatura interna através do uso de termostatos, provendo melhores resultados e ampliando as opções de cultivo. O controle das variáveis, como: umidade relativa do ar, quantidade de radiação e luz presentes no interior das casas de vegetação, tornou-se possível a partir de então e com o passar dos anos apresenta melhorias qualitativas e quantitativas para a gestão em diferentes tipos de cultura. As casas de vegetação possuem também uma ampla aplicação no ramo de pesquisas com o intuito de melhorar a produção do plantio almejado através de estudos específicos, como é o caso da que foi tomada como base para o presente projeto. Neste tipo de aplicação, o controle das variáveis se torna ainda mais importante, para que se possa obter resultados coesos para os mais variados tipos de estudos.

No entanto, apesar da grande eficiência e bons resultados, alinhados com o desenvolvimento tecnológico, algumas arestas ainda precisam ser adequadas e alguns fatores (variáveis) melhor controlados. Por exemplo, as casas de vegetações que se situam em lugares de clima mais quente tendem a ter dificuldade para manter a estabilidade da temperatura interna ao longo do ano. Normalmente consegue-se manter a temperatura favorável ao plantio em estações frias, porém não se consegue obter refrigeração suficiente para manter a temperatura estável em dias mais quentes. Esse é o principal problema da casa de vegetação escolhida para o presente trabalho, situada em Lavras – Minas Gerais (MG). O descontrole acerca da temperatura em épocas mais quentes ocasiona o chamado estresse térmico, fator limitante para diferentes culturas. Segundo Beltrão, o estresse térmico decorrente do aumento da temperatura

e conseqüente diminuição da umidade relativa do ar, gera grandes problemas, como o incremento do processo respiratório das plantas, como perda de permeabilidade seletiva das membranas e até mesmo morte da cultura em casos de cultivares de metabolismo fotossintético  $C_3$  (devido ao fato de que ocorre um aumento na respiração oxidativa, assim como o da fotorrespiração da planta).

Com o passar do tempo, diferentes atuadores e artifícios foram implementados nas casas de vegetação para evitar esse problema. De acordo com a literatura atual, dentre os que recebem maior destaque, os exaustores e os resfriadores evaporativos são um dos que geram melhores resultados.

Assim, com o objetivo de aumentar a eficiência no controle da temperatura da casa de vegetação em questão, foi realizado, a princípio, uma simulação do escoamento do ar em seu interior. Para que esse processo fosse realizado de forma precisa e eficiente, foram utilizados os softwares Ansys CFX e Autodesk CFD. Devido à vasta quantidade de recursos presentes no Ansys CFX, foi possível discretizar geometrias complexas como a da casa de vegetação, transformando-as de domínio contínuo para domínio discreto (conjunto dos pontos discretos é denominado de malha computacional), ou seja, as malhas computacionais que possibilitaram simular o escoamento do ar por meio de equações amplamente conhecidas nas áreas de transferência de calor e mecânica dos fluidos. A confiabilidade desse software é notável (ANDERSON, 2008), sendo ele amplamente utilizado em projetos de diferentes áreas, como: aviação, automobilística e naval, especialmente em projetos nos quais é inviável a criação de protótipos para realização de testes ou até mesmo quando a resolução do problema se torna arriscada para que seja desempenhada por seres humanos.

Após uma análise da distribuição de temperatura no interior da casa de vegetação, foi identificado que a presença de apenas um sensor de temperatura não é suficiente para garantir uma amostragem eficaz para que decisões relacionadas ao controle da temperatura sejam tomadas. Duas zonas de calor são significativas para o acionamento ou não dos atuadores, sendo também importante ressaltar que fatores como a temperatura externa e a temperatura da água utilizada no sistema de refrigeração devem ser constantemente monitorados. Desta forma, uma boa opção a utilização de um Controlador Lógico-Programável (CLP), uma vez que esse dispositivo pode ser conectado a vários sensores e atuadores, permitindo a elaboração de lógicas complexas e eficientes para interliga-lós. Segundo Petruzella (2014), um CLP é responsável

por tomar decisões com base em sua programação, recebendo sinais de sensores, processando-os e atualizando suas saídas, que por sua vez são interligadas aos atuadores.

Junto com a proposta de melhoria do sistema de automação da casa de vegetação, foi avaliada a viabilidade econômica da substituição dos motores presentes no sistema de exaustão atual, sendo que os novos prometem uma economia energética de até 40%. Segundo o fabricante (MUNTERS, 2020), a instalação de um motor eletrônico diretamente no eixo das hélices dos exaustores é capaz de aumentar o rendimento do atuador como um todo e também reduzir parte da manutenção, visto que polias, correias e outras peças móveis são dispensadas.

Em virtude do que foi mencionado, o presente trabalho traz como proposta além da análise de viabilidade econômica a modernização do sistema de controle de temperatura de uma casa de vegetação presente no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Por meio de simulações e análises de escoamento de ar, realizadas utilizando técnicas de dinâmica computacional de fluidos, foi possível identificar as diferentes zonas de calor presentes na casa de vegetação, sendo que, entre elas, duas se mostraram importantes para a redução do problema de estresse térmico das plantas.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Identificação do Problema

Foi identificado em uma das casas de vegetação presentes na Universidade Federal de Lavras (UFLA) a possibilidade da implementação de um controle de temperatura através do uso de um Controlador Lógico-Programável (CLP). Como a temperatura é um fator de grande importância no estudo de diferentes tipos de cultivares, é necessário que o controle dessa variável seja feito de forma eficiente e precisa, de modo que os resultados das pesquisas sejam confiáveis. Devido ao fato do processo atual ser controlado por um *Temperature Indicator Controller* (TIC), dispositivo responsável por fazer o acionamento dos atuadores com base em comparações realizadas entre os limites fornecidos pelo operador e a temperatura medida por um sensor, o sistema de automação está limitado em apenas uma entrada e uma saída deste controlador (modelo 17RGTI), sendo a primeira destinada ao sensor e a última destinada à conexão dos contadores (modelo 3TS30, da Siemens) responsáveis por fornecer ou não energia aos ventiladores de exaustão (modelo EM50n, da Munters). Outra parte do sistema de resfriamento, cujo acionamento acontece por meio de contadores paralelos, consiste em uma bomba de água (modelo NBFC-0, da Nautilus) responsável por umidificar quatro painéis evaporativos (modelo CELdek, da Munters) situados na parede oposta aos exaustores.

Como mencionado, o fato da existência de apenas um medidor de temperatura não possibilita uma medição representativa dessa grandeza e, sendo assim, as tomadas de decisão não são de fato realizadas com a melhor informação possível, prejudicando o objetivo de mantê-la dentro dos limites estipulados, especialmente durante os dias mais quentes. Isso acontece porque a casa de vegetação não possui uma distribuição de temperatura uniforme e, sendo assim, o fato de que a área ao redor do sensor está a uma temperatura dentro dos limites estipulados não garante que outras áreas da casa de vegetação não estejam expostas a um estresse térmico. Dependendo da duração do estresse, estágio do desenvolvimento vegetal, quantidade de incidência de radiação infravermelha e calórica, vários danos são passíveis de acontecer nas plantas de metabolismo fotossintético  $C_3$ , como o aumento anormal da respiração oxidativa e da fotorrespiração da planta (Levitt, 1972), causando a redução de fotossíntese e consequentemente a diminuição da eficiência do vegetal, podendo gerar até mesmo a morte de tais sistemas biológicos (GONDIM, Cavalcante e Beltrão, 2010).

Além disso, conforme detalhamento apresentado mais à frente, o fato de existir apenas um sensor de temperatura pode incorrer em situações nas quais o sistema de automação se esforça para levar a temperatura da casa de vegetação a valores fisicamente inatingíveis,

ocasionando desperdícios de energia elétrica. De modo geral, a combinação entre o TIC e apenas um sensor de temperatura não favorece a obtenção de resultados satisfatórios, sendo um ponto de grande importância para os acadêmicos da área, pois buscam um ambiente controlado.

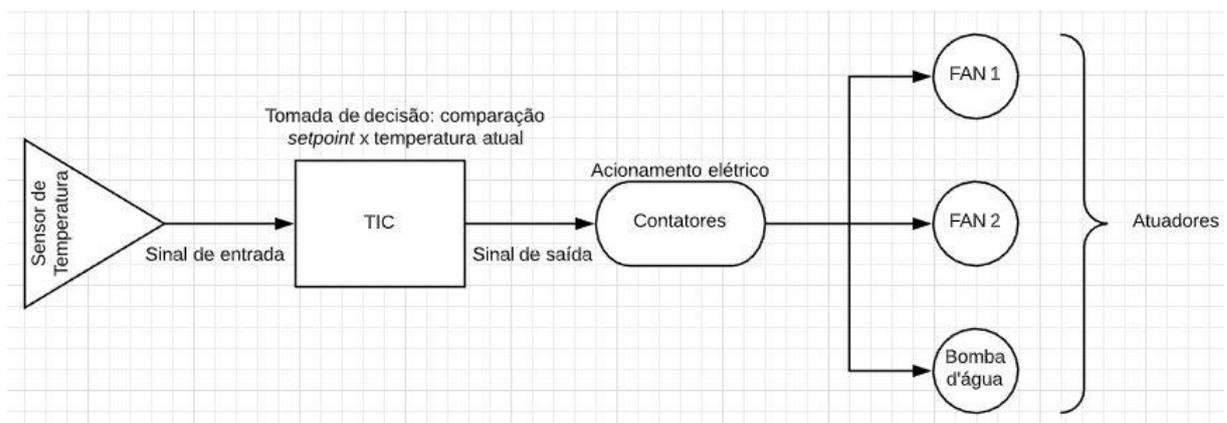
## 2.2 Análise de Alternativas

Ao propor uma nova alternativa de controle de temperatura da casa de vegetação, faz-se necessário uma análise criteriosa no que tange as limitações identificadas no atual sistema. Sendo assim, softwares de dinâmica computacional de fluidos foram utilizados para determinar a quantidade de sensores de temperatura necessários para a obtenção de dados satisfatórios, bem como a verificação de situações fisicamente inatingíveis. Além disso, tais *softwares* foram utilizados para verificar a eficiência dos novos motores propostos. Portanto, faz-se necessário analisar a viabilidade técnica e econômica de todos os recursos necessários para a implementação do novo sistema de automação, considerando seus benefícios diretos e indiretos.

### 2.2.1 Controle de temperatura através do TIC

Um *Temperature Indicator Controller (TIC)* é composto por um sistema de processamento bem simplificado que geralmente permite apenas o uso de um sensor em sua entrada e é capaz de fazer acionamentos através de apenas uma saída. A Figura 1, mostra o esquema atualmente implementado na casa de vegetação, que consiste basicamente na comparação entre os dados coletados pelo sensor de temperatura e os limites fornecidos para o TIC, cabendo a este último decidir se todo o conjunto responsável pela refrigeração da casa de vegetação deve atuar ou não.

Figura 1- Diagrama esquemático do sistema de controle de temperatura atual.



Fonte: Dos autores (2020).

### 2.2.2 Dinâmica computacional de fluidos no dimensionamento do controle

Segundo Anderson (1995), a dinâmica computacional dos fluidos vem crescendo e mostrando seu valor desde o final da década de 60, onde até então era objeto de estudo em laboratórios governamentais e outras instituições de cunho tecnológico. Porém, foi na década de 1980 que foram disponibilizados para venda os primeiros *softwares*, após a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e Boeing concederem acesso dos códigos ao público.

Atualmente é vasta a gama de opções de *softwares* de Dinâmica Computacional de Fluidos (CFD), tais como: ANSYS CFX, *PowerFlow*, Flow-3D, Autodesk CFD entre outros. Escolhidos como ferramentas para este trabalho, o Ansys CFX e o Autodesk CFD proporcionam grande variedade de simulações envolvendo diferentes análises relacionadas a fluidos e por possuírem grande número de documentos e arquivos disponível na *internet*, facilitando assim, o desenvolvimento e a implementação do projeto de forma mais segura, com qualidade e rápida. Devido ao alto grau de confiabilidade e precisão destes *softwares*, a indústria naval, aeronáutica, automobilística entre outras, utilizam seus recursos com o objetivo de reduzir o custo e a margem de erro que antes eram ocasionados pelos cálculos que até então eram realizados a manualmente.

Conforme os autores Çengel e Cimbala (2015), ao assumirmos um escoamento laminar de um fluido newtoniano e viscoso como sendo permanente e incompressível, podemos definir duas equações responsáveis por governar o movimento deste fluido, a equação da continuidade e a equação de Navier-Stokes (FORTUNA, 2000), respectivamente denotadas como as Equações 1 e 2,

$$\vec{\nabla} \times \vec{V} = 0 \quad (1)$$

$$(\vec{\nabla} \times \vec{\nabla}) \times \vec{V} = -\frac{1}{\rho} \times \vec{\nabla} P' + \nu \times \nabla^2 \vec{V} \quad (2)$$

nas quais  $\vec{V}$  é a velocidade do fluido,  $\rho$  é sua densidade e  $\nu$  é sua viscosidade cinemática. O operador gradiente,  $\vec{\nabla}$  representa o gradiente pelo qual se faz a análise da dinâmica do fluido e  $P'$  é a pressão modificada que absorve o efeito da pressão hidrostática.

É necessário evidenciar que a fundamentação teórica da dinâmica computacional dos fluidos é bem mais vasta do que apenas duas equações. Porém é possível compreender de forma básica e suficiente o escopo deste trabalho e o funcionamento de *softwares* CFD compreendo-

se, além das duas primeiras, a Equação 3, que representa a equação da conservação de energia (FORTUNA, 2000),

$$\Delta E_{acu} = E_{ent} - E_{sai} + E_g \quad (3)$$

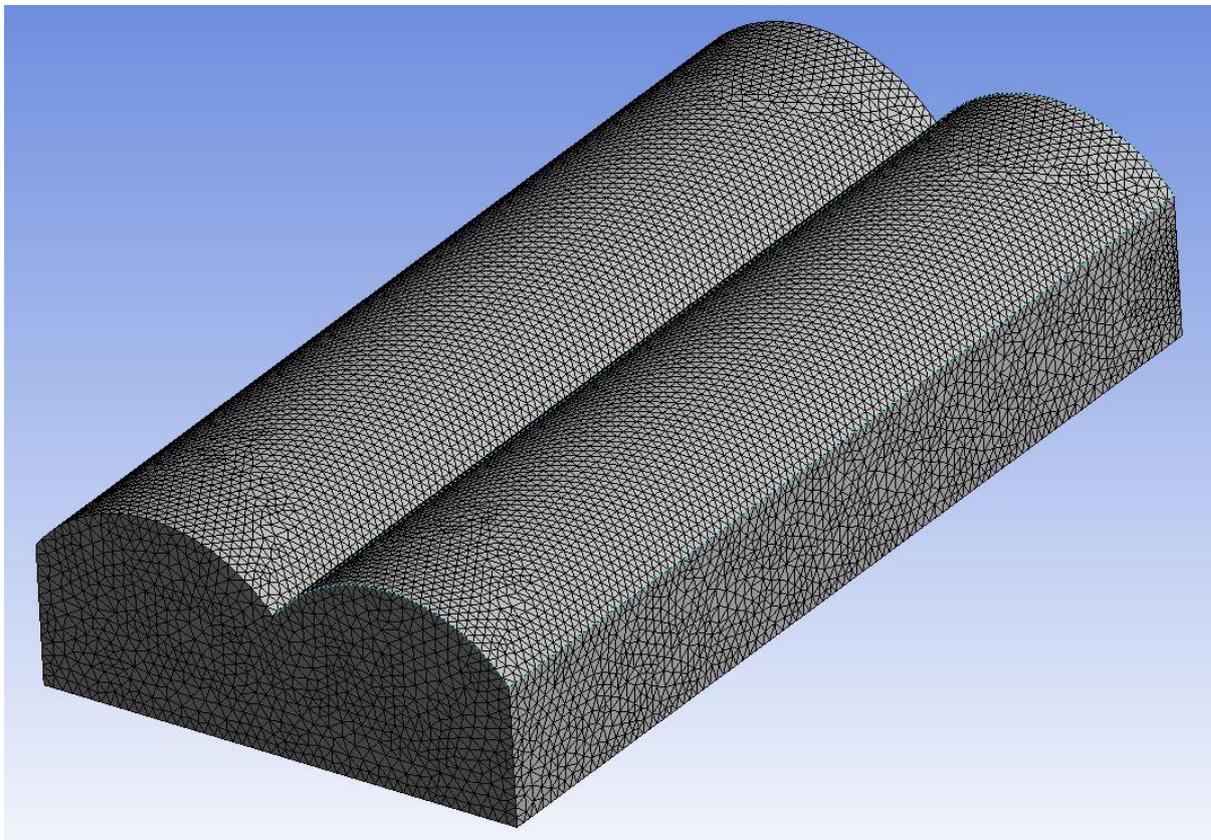
na qual,  $\Delta E_{acu}$  representa a variação de energia acumulada em um sistema,  $E_{ent}$  e  $E_{sai}$  as energias que entram e saem do sistema respectivamente e  $E_g$  a energia sendo gerada dentro do sistema.

Mesmo que suficientes para resolver determinados problemas de escoamento de fluidos, as equações apresentadas anteriormente precisam passar por um processo de discretização, isto é, a discretização das equações é feita pelo método de volumes finitos. Rincon (2015), explica que para maior precisão e confiabilidade nos resultados gerados por simulações, *softwares* CFD primeiramente fazem a criação da malha, também chamada de “domínio computacional”, como será mostrado mais adiante.

Esse processo considera de forma minuciosa de toda a geometria de interesse, criando uma malha computacional subdividida em um grande número de pontos que, somados, representam novamente todo o domínio da geometria estudada. Nesse ponto, o *software* faz subdivisões que abrangem todo o contorno do problema, criando pequenas células, que são áreas e volumes em análises bidimensionais ou tridimensionais, respectivamente. Na maioria das vezes, quanto maior for o número de subdivisões existentes dentro dessa malha computacional, melhor a qualidade a simulação. Após obter uma malha suficientemente refinada e que seja eficaz em representar o problema real, o software resolve inúmeras equações aplicáveis ao problema para cada uma das subdivisões criadas.

No projeto em questão, as principais equações são as de Navier-Stokes, da continuidade, conservação de massa e a conservação da energia. Obtém-se então a discretização das mesmas, isso é, uma releitura da situação física onde computadores são capazes de entender o domínio de todo o problema, permitindo suas resoluções de forma iterativa dentro de cada célula que compõem a malha, partindo de condições de contorno que foram previamente definidas para atender as situações as quais a casa de vegetação está sujeita. Desta forma, quanto mais próxima do infinito o número de pontos desta malha, mais próxima do sistema real se torna a simulação. Em geral, uma malha otimizada juntamente com condições de contorno criteriosas e bem definidas possibilita uma simulação suficientemente próxima do fenômeno físico que se busca entender. A Figura 2 representa um exemplo de malha computacional obtida a partir da discretização da casa de vegetação abordada neste trabalho.

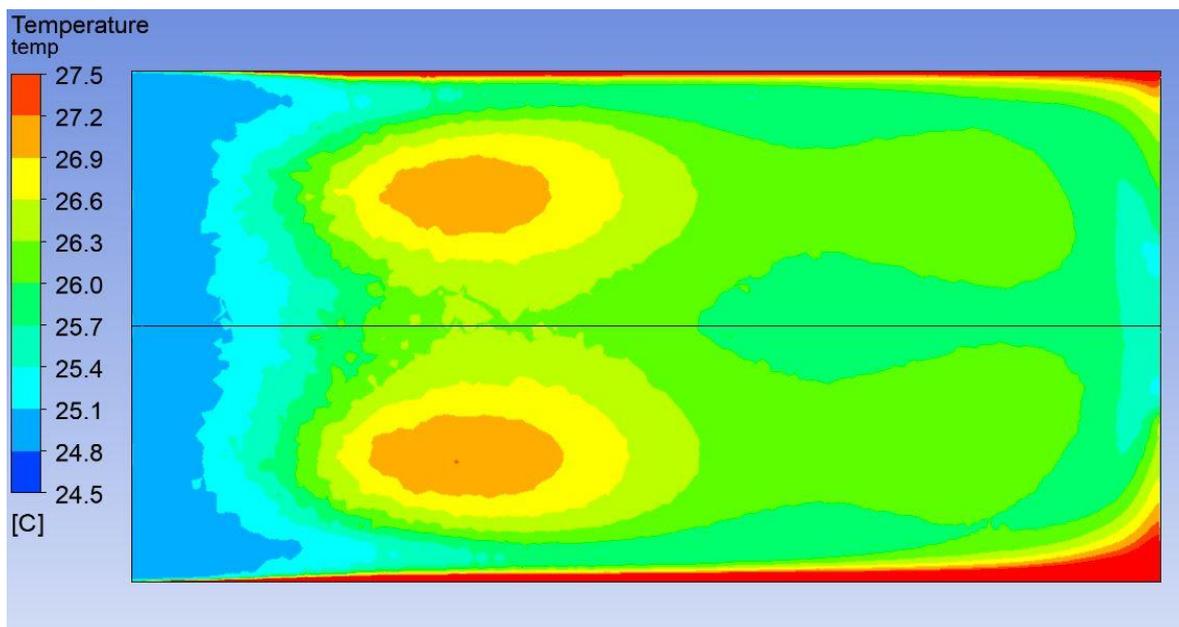
Figura 2 - Exemplo de malha computacional da casa de vegetação em estudo, obtida por meio do *software* Ansys CFX R18.1.



Fonte: Dos autores (2020).

A aplicabilidade da dinâmica computacional dos fluídos neste projeto se dá pela necessidade de identificar, contabilizar as zonas de calor presentes dentro da casa de vegetação e possibilita a verificação de melhorias no sistema antes mesmo de fazê-las em escala real. A Figura 3, mostra o resultado da simulação realizado no *software* Ansys CFX. Na simulação foi considerada uma temperatura externa de 34°C e uma temperatura de 25°C para a água presente no sistema de refrigeração. A vazão mássica utilizada foi a que é gerada pelo conjunto exaustor/motor de corrente alternada (11.9 kg/s) e a pressão estática no lado de fora foi a de 12 Pa. Foi estabelecido com critério de parada para as simulações um erro mínimo na casa de  $10^{-4}$ , erro que é frequentemente utilizado entre os usuários do *software*.

Figura 3 - Resultado da simulação de transferência de calor no plano XY.



Fonte: Dos autores (2020).

Uma vez identificadas as diferentes zonas, foi possível especificar a quantidade necessária de sensores para que o controle de temperatura cumpra seu propósito, tomando decisões confiáveis. Além disso, através dos *softwares* utilizados, percebeu-se que não é possível que a temperatura da casa de vegetação fique abaixo da temperatura da água utilizada no sistema de refrigeração, quando a temperatura ambiente permanece acima da última. No sistema de automação atual não há restrição em relação aos limites de temperatura especificados pelo operador e, sendo assim, corre-se o risco de que o controlador envie o sinal para ligar os atuadores indefinidamente, buscando uma temperatura interna inatingível e, conseqüentemente desperdiçando energia elétrica. Desta forma, é possível melhorar o desempenho do sistema de controle e evitar a mencionada situação de desperdício por meio do uso de quatro medidores de temperatura: dois na parte interna da casa de vegetação (nas localizações detalhas mais a frente), um na parte externa (para medir a temperatura ambiente) e um submerso (para medir a temperatura da água bombeada para a parede molhada).

### 2.2.3 Sistema de controle de temperatura por meio de CLP

Conforme afirma Petruzella (2014), em 1968 surgia o advento do que seria o dispositivo revolucionário na área de controle de processos e afins, o Controlador Lógico-Programável (CLP). Desenvolvido pela *BedFord Associates*, a pedido da *General Motors* (GM), o MODICON 084 surgiu com intuito de otimizar sistemas industriais, substituindo lógicas

implementadas com relés eletromecânicos e reduzindo o tempo de desenvolvimento e adequações nas linhas de montagens, monitoramento de defeitos, bloqueios do sistema de forma rápida e simples, dentre outras inúmeras funcionalidades úteis e imprescindíveis na atualidade.

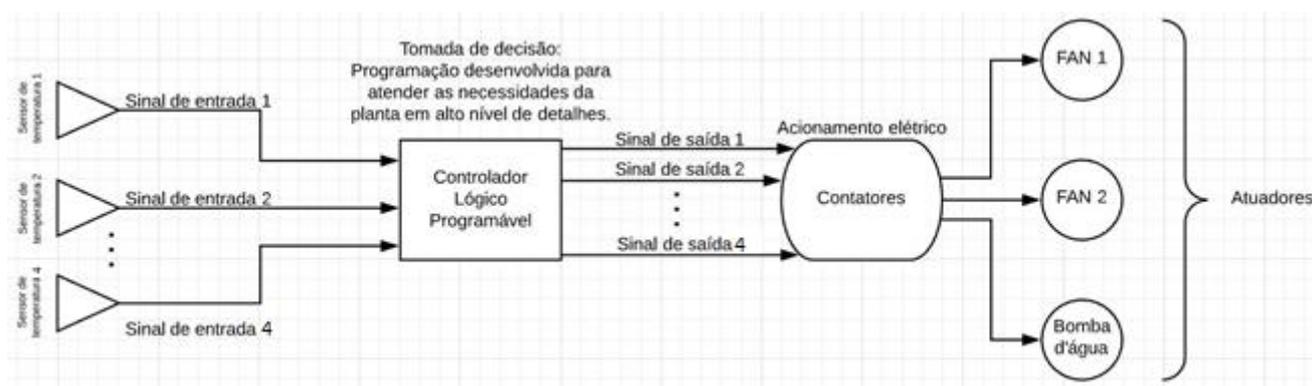
Um CLP, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), é um sistema eletrônico projetado para operar digitalmente através de seus periféricos, ou seja, através de suas entradas e saídas (E/S) elétricas, que podem ser contínuas ou discretas (respectivamente, são popularmente chamadas de analógicas ou digitais). O conceito de CLP consiste em uma memória programável com armazenamento de instruções e funções internas que posteriormente serão gerenciadas e operadas por um ou mais usuários. De maneira mais detalhada, primeiramente o CLP faz a aquisição das entradas, que são nada mais do que a abstração de grandezas físicas como temperatura, velocidade, umidade, ou até mesmo o estado em que se encontram botões, detectores de nível, chaves seletoras e outras variáveis que são passíveis de serem representadas por variáveis binárias. Após coletadas as entradas, os valores e estados que as representam são armazenados na memória do CLP, ficando disponíveis para serem manipulados e processados pela *Central Processing Unit* (CPU), que então é responsável por atualizar as saídas, que também podem ser contínuas ou discretas, respectivamente conectadas a elementos como válvulas proporcionais ou inversores de frequência, no primeiro caso, e contadores, solenoides e lâmpadas, no último.

Dessa forma, está sendo proposta a implementação de um novo sistema de automação, fazendo uso de um CLP, para que este seja o responsável pelo controle de temperatura, visto que são inúmeras as vantagens sobre o já mencionado TIC. Dentre as vantagens mais relevantes é possível destacar: 1) a facilidade de expansão, visto que existem outras operações realizadas dentro da casa de vegetação que podem futuramente ser acrescentadas na lógica do controlador; 2) a flexibilidade, sendo possível acrescentar uma maior quantidade de medidores de temperatura (o que permite a elaboração de uma lógica que pode avaliar um amplo leque de situações, inclusive bloqueando as que forem solicitadas pelo operador mas se mostrarem perigosas ou inatingíveis); 3) a possibilidade de acesso remoto e a criação de um registro de dados referentes às medições de temperaturas e a várias outras variáveis. Tudo isso torna o CLP atrativo, compondo uma proposta capaz de gerar economia energética, aumentar a produtividade da casa de vegetação e reforçar a confiabilidade dos estudos realizados na mesma.

A Figura 4, mostra o diagrama esquemático do cenário técnico proposto neste trabalho. É válido destacar que nesse cenário os atuadores podem ser acionados de forma independente

e que as decisões são tomadas após avaliação criteriosa executada pelo CLP. Além do diagrama esquemático em questão, um diagrama de interligação elétrica entre o CLP e seus sensores e atuadores está em anexo ao presente texto (ANEXO A).

Figura 4- Diagrama de fluxo de dados.



Fonte: Dos autores (2020).

#### 2.2.4 Substituição de motores AC por motores eletrônicos

Atualmente, os exaustores presentes na casa de vegetação são do modelo EM50n, fabricados pela Munters, com motores trifásicos de 1,0 cv. Segundo o fabricante, os motores de corrente alternada responsáveis pelo funcionamento dos exaustores apresentam uma eficiência mecânica de 79% e sem o uso de inversores de frequência externos trabalham apenas de forma binária, ou seja, ou estão ligados em rotação máxima ou estão desligados. Além disso, um sistema mecânico de transmissão é necessário para entregar rotação ao eixo das hélices dos exaustores. Esse mesmo sistema apresenta uma eficiência de 95% inicialmente, mas após certo tempo de uso, a eficiência pode decair até 75%. Devido à soma desses dois fatores, o fabricante indica perdas de 400W e 600W, dependendo do tempo de uso.

Decorrente das desvantagens mencionadas anteriormente, o fabricante (Munters) desenvolveu um novo motor que pode substituir os de corrente alternada. Sendo assim, o *Munters Drive* surgiu para reduzir os problemas de perda de eficiência no motor e no sistema de transmissão do mesmo. Com eficiência em torno de 94%, baixa corrente de arranque, controle de velocidade e um motor de corrente contínua, o *Munters Drive* dispensa o uso de polias e correias, eliminando assim a necessidade da manutenção do antigo sistema de transmissão. Este novo modelo de motor é instalado diretamente no eixo das hélices e é adaptável em diferentes exaustores, inclusive nos que já estão presentes no campo, sem que seja necessário outras aquisições.

O novo sistema desenvolvido permite três tipos de operação, sendo eles: *High Efficiency*, indicado para situações onde é necessária uma ventilação mínima; *High Output*, capaz de mover uma grande massa de ar; e *High Rebate*, onde o desempenho e a eficiência encontram um equilíbrio para fornecer bons resultados sem a necessidade de se pagar um alto custo.

### 3 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONOMICA

#### 3.1 Métodos para estimar a viabilidade econômica

O presente trabalho apresenta uma proposta de substituição dos motores responsáveis pelo funcionamento dos exaustores atualmente presentes na casa de vegetação por motores de corrente contínua, os quais oferecem uma economia de 40% no consumo de energia elétrica. Foram então escolhidos três métodos responsáveis para se estimar a viabilidade financeira do sistema proposto neste trabalho: o valor presente líquido (VPL), o período de retorno do capital (*Payback*) e a taxa interna de retorno (TIR).

De acordo com Ross *et al.* (2015), o método do valor presente líquido consiste no cálculo da diferença entre a soma dos valores presentes de todo o fluxo de caixa futuro e o desembolso inicial de um projeto. De acordo com a regra do VPL, uma aplicação deve ser aceita caso o resultado da equação 4 seja maior do que zero, e descartada quando contrário.

$$VPL = \left[ \sum_{k=1}^n \frac{PMT_k}{(1+i)^k} \right] - PV \quad (4)$$

em que:

*PMT*: Fluxo estimado de caixa;

*n*: número de anos de análise de investimento;

*i*: Taxa mínima de atratividade;

*PV*: Investimento inicial;

Segundo Luzio (2020), o período que um projeto leva para restituir, através de acúmulo de caixa, o equivalente ao que foi investido é denominado *Payback*. Dessa forma, deve-se tomar como regra para decidir se um projeto é viável ou não um prazo de corte específico, e a viabilidade do projeto será possível se o período de retorno de capital se mostrar menor que o prazo determinado. O cálculo indicado neste método pode ser feito por meio da equação 5.

$$Payback = \frac{\text{investimento inicial}}{\text{fluxo de caixa regular}} \quad (5)$$

Como alternativa ao método do VPL, a Taxa Interna de Retorno (TIR) tem semelhanças com o método mencionado acima, o método busca zerar o VPL. Através de uma comparação entre a taxa mínima de atratividade e a TIR, é possível verificar se um projeto é viável ou não. A TIR não depende de taxas de juros vigentes no mercado de capitais, trazendo consigo o

proposito de avaliar a viabilidade de um investimento levando em consideração apenas o fluxo de caixa referente ao projeto e a taxa mínima de atratividade da própria instituição (Ross *et al.*, 2015).

$$VPL = \left[ \sum_{k=1}^n \frac{PMT_k}{(1+r^*)^k} \right] - PV = 0 \quad (6)$$

em que:

$r^*$ : Taxa interna de retorno.

Considerando que os três métodos (VPL, TIR e *Payback*) serão utilizados neste trabalho, a Tabela 1 apresenta, de forma genérica o modelo escolhido para expor as variáveis e os resultados das análises econômicas.

Tabela 1 - Prelúdio da Análise Econômica.

Período	VPL	TIR	<i>Payback</i>
Ano 0	A reais	A%	A anos
Ano 1	B reais	B%	B anos
⋮	⋮	⋮	⋮
Ano N	N reais	N %	N anos

Fonte: Dos autores (2020).

## 3.2 Levantamento dos custos do projeto

### 3.2.1 Materiais necessários

Para a melhoria relacionada ao consumo energético por parte dos exaustores, será necessário a compra de dois motores do fabricante Munters (modelo Munter Drive) para serem acoplados ao eixo da hélice dos exaustores já instalados na casa de vegetação. Sendo assim, não será necessária nenhuma outra alteração na estrutura dos exaustores tampouco a compra de um novo conjunto.

Com relação ao controle de temperatura, os equipamentos necessários serão: quatro medidores de temperatura, um CLP, cabos para a conexão dos medidores de temperatura e um módulo de entradas analógicas. Os medidores temperatura escolhidos para o projeto foram do tipo PT100 genérico, pois estes medidores podem ser instalados em todos os pontos necessários, inclusive de forma submersa no tanque de água. O CLP do fabricante Schneider (modelo TM221CE16T) foi selecionado dentre muitos outros devido ao custo benefício e pela possibilidade de utilização de um *software* gratuito para sua programação. Entretanto, é

necessário o acréscimo de um módulo da mesma marca para a expansão da quantidade de entradas analógicas(modelo Modicon TM3TI4), para que o dispositivo possa oferecer entradas suficientes para a conexão de todos os medidores de temperatura. A tabela 2 a seguir, mostra os valores referentes a compra dos equipamentos mencionados e também de todo o cabeamento necessário. Todos os valores já são apresentados com a inclusão dos fretes.

Tabela 2 - Custo de aquisição dos equipamentos.

Equipamento	Quantidade	Custo unitário	Custo total
Munters Drive	02 unidades	R\$ 14.000,00	R\$ 28.000,00
CLP TM221CE16T	01 unidades	R\$ 3.182,25	R\$ 3.182,25
Módulo TM3TI4	01 unidades	R\$ 2.305,02	R\$ 2.305,02
PT100 (Genérico)	04 unidades	R\$ 95,00	R\$ 380,00
Cabo blindado para sensor PT100	50 m	R\$ 32,11	R\$ 1.605,50
Total de investimentos			R\$ 35.742,77

Fonte: Dos autores (2020).

### 3.2.2 Horas de engenharia

Após a compra de todo o material necessário para a implementação do sistema, ainda é preciso contabilizar as horas de engenharia necessárias para a conclusão do projeto. Junto com as horas estimadas para a instalação, o pacote orçado inclui a integração do CLP com o restante dos atuadores e sensores, além do deslocamento e estadia da equipe. Segundo a empresa consultada, seriam necessárias 10 horas de engenharia para a instalação. O valor de todo o pacote fornecido pela empresa foi de R\$ 4.150,00 sendo que o custo da substituição do motor AC pelo Drive Munters já está incluso no valor do equipamento.

### 3.3 Levantamento de benefícios

#### 3.3.1 Benefícios da automatização com o uso do CLP

O presente trabalho apresenta benefícios diretos e indiretos da automatização da casa de vegetação situada na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Como benefício direto da automatização do controle de temperatura por meio de um CLP, a temperatura mais estável dentro da casa de vegetação o fator que mais se destaca. Com tomadas de decisões mais assertivas, deveria ser possível aumentar a produtividade da cultura em estudo, tornando todo o desenvolvimento das pesquisas mais eficaz e preciso.

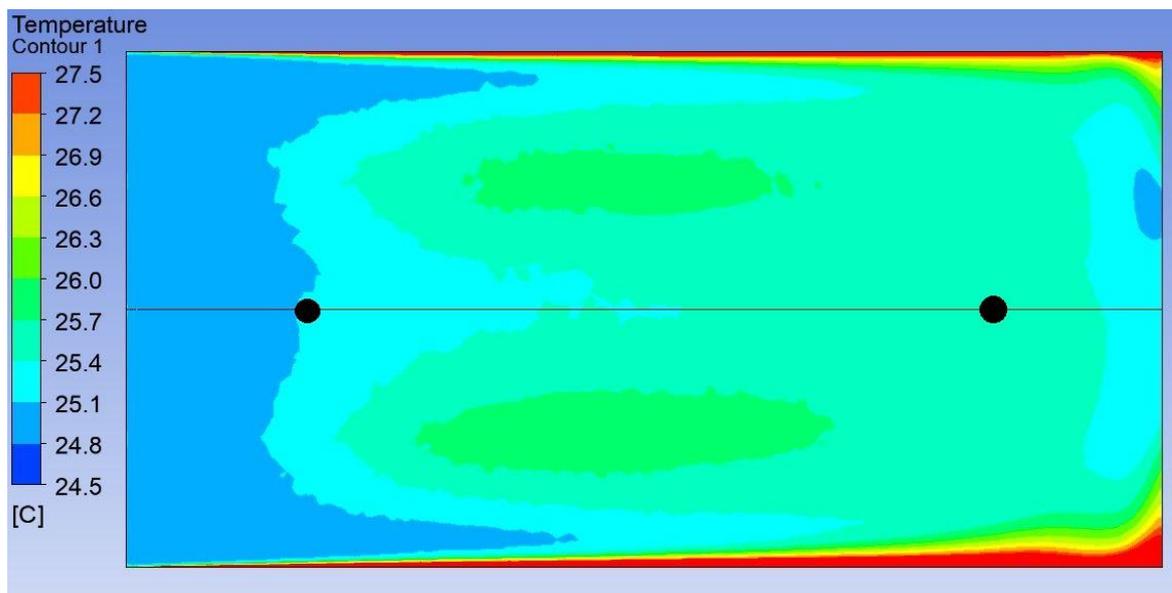
Indiretamente, o novo sistema de controle de temperatura deveria ser capaz de entregar maior praticidade e segurança. Com todos os recursos presentes no CLP, a possibilidade de acesso ao histórico de alterações de temperatura ao longo de todo o estudo abre um novo leque de oportunidades no que diz respeito à influência da temperatura no comportamento da cultura em estudo. A quantidade maior de sensores combinada com a lógica implementada no CLP também deveria viabilizar a criação de mensagens de erros responsáveis por indicar ao operador quando parâmetros incorretos são inseridos no sistema.

### 3.3.2 Benefícios da substituição dos motores AC por motores DC (Munters Drive)

Com a substituição dos motores AC pelos motores DC anteriormente especificados (*Munters Drive*), passa a ser desnecessário o uso de um sistema de transmissão responsável por transferir a rotação do motor ao eixo da hélice, gerando economia vinculada à mão-de-obra técnica necessária para a manutenção desses componentes. Atualmente para o sistema convencional, a Munters aconselha uma revisão mensal para alinhamento de polia e correia, e também a substituição da correia quando necessário. Além da economia de mão-de-obra, o novo sistema promete uma redução no consumo energético em torno de 40%.

Além de um menor consumo energético e reduções consideráveis na manutenção, o *Munters Drive* oferece um melhor desempenho quando se trata do controle de temperatura no interior da casa de vegetação, proporcionando uma distribuição de temperatura mais homogênea, como é possível observar na figura 5.

Figura 5 - Distribuição de temperatura com o *Munters Drive*.



Fonte: Dos autores (2020).

Na situação em análise (Figura 5), é possível identificar as duas zonas de calor que possuem maior influência no controle de temperatura, sendo assim, os dois círculos pretos sinalizam os locais onde deverão ser instalados os medidores de temperatura. O primeiro ponto a esquerda está situado próximo a parede evaporativa onde conseqüentemente tende a ser mais frio, e o segundo ponto está próximo dos exaustores, onde já houve um ganho significativo de temperatura.

### **3.3.3 Estimativa de economia de energia elétrica e seu impacto financeiro**

A fim de estimar a economia financeira gerada pela substituição dos motores de corrente alternada pelos de corrente contínua, faz-se necessário considerar a economia energética e a economia de mão-de-obra gerada pela extinção do sistema de transmissão dos exaustores. Inicialmente, como há uma orientação do fabricante para que o sistema de transmissão dos exaustores EM50n (atualmente empregados na casa de vegetação) passem por manutenções mensais, a um custo estimado de R\$ 300,00 por mês, chega-se a ao valor anual de R\$ 3.600,00.

Para estimar a economia energética proporcionada pelos novos motores é necessário compreender o cenário no qual a UFLA está inserida. A instituição atualmente contrata a modalidade tarifária horo-sazonal verde, a qual possui dois valores distintos para kWh comercializado pela concessionária do estado. Entre 17:00h e 21:00h, intervalo considerado como “horário de ponta”, o valor do kWh de R\$ 1,67. Em qualquer outro momento, o valor de R\$ 0,35. Vale ressaltar que aos finais de semana não existem horários especiais.

Devido a fatores climáticos e a grande rotatividade de estudos que ocorrem na casa de vegetação, não foi possível estimar o tempo de atuação dos exaustores ao longo do ano de forma a se obter um valor único e preciso. Entretanto, o presente trabalho propoem a consideração de quatro diferentes cenários, nos quais os exaustores funcionam sempre dentro do intervalo entre 11 e 18 horas de cada dia, mas em regimes de trabalho cuja intensidade varia conforme pode ser observado na Tabela 3, ou seja, um minuto de funcionamento a cada três minutos (cenário 1); cinco minutos (cenário 2); dez minutos (cenário 3) e vinte minutos (cenário 4).

Tabela 3 – Estimativas para o tempo de funcionamento dos exaustores ao longo do ano, em quatro diferentes cenários, mas sempre considerando que os acionamentos ocorrem no período entre 11 e 18 horas.

Intervalo entre atuações de um minuto	Horas de funcionamento anual (fora do horário de ponta)	Horas de funcionamento anual (em horário de ponta)
3	730,00	120,45
5	438,00	73
10	219,00	36,5
20	109,50	18,25

Fonte: Dos autores (2020).

Após estimados os tempos de funcionamento ao longo de um ano, foi possível encontrar o custo decorrente dos motores de corrente alternada e a economia gerada pelos novos motores em cada um dos cenários propostos. Os motores de corrente alternada presentes na casa de vegetação tem potência de 1cv e eficiência mecânica de 79%. A partir dessas informações, foi possível calcular, por meio da equação 7 o consumo energético dos motores de corrente alternada no decorrer dos período de tempo desejados.

$$C = \left[ \left( \frac{P * FC}{\eta} \right) * 100 \right] * t \quad (7)$$

em que:

$C$  = Consumo.

$P$  = Potência mecânica do motor.

$FC$  = Fator de conversão de cavalo vapor para kilowatts.

$\eta$  = Eficiência mecânica do motor

$t$  = Tempo de funcionamento.

Após os cálculos de consumo energético dos motores, foi possível estimar, por meio da Equação 8, as despesas financeiras atreladas a este quesito, sendo que isto foi feito para cada um dos quatro cenários propostos.

$$V_n = (C_p * 1,67) + (C_{fp} * 0,35) \quad (8)$$

em que:

$V_n$  = Valor gasto para o regime  $n$ .

$C_p$  = Consumo em horário de ponta.

$C_{fp}$  = Consumo fora do horário de ponta.

Na Tabela 5 podem ser observadas as estimativas de despesas anuais relacionadas ao consumo de energia elétrica dos exaustores, para cada um dos quatro regimes de funcionamento propostos, e também qual seria o valor da economia proporcionada pelos novos motores que, segundo o fabricante, gira em torno de 40%, sendo este valor adotado para os cálculos relacionados ao quatro cenários propostos.

Tabela 4 – Estimativas para a despesa financeira atralada ao consumo energético dos exaustores ao longo do ano, para os quatro diferentes cenários propostos na Tabela 3.

Intervalo entre atuação (minutos)	Gasto anual	Economia gerada
3	R\$ 823,58	R\$ 329,43
5	R\$ 494,85	R\$ 197,94
10	R\$ 247,43	R\$ 98,97
20	R\$ 123,71	R\$ 49,49

Fonte: Dos autores (2020).

### 3.4 Resultados referentes a análise econômica

A proposta de substituição de motores de corrente alternada pelos motores de corrente contínua da Munters é capaz de gerar economias de 40% no consumo de energia, como já foi descrito, e também economias relacionadas a mão de obra. Sendo assim, a tabela 5 apresenta o fluxo de caixa gerado por essas economias no decorrer de 10 anos, para os quatro regimes de funcionamento estudados.

Tabela 5 - Fluxo de caixa estimado ao longo de dez anos para os quatro cenários propostos na Tabela 3.

Intervalo entre atuação	3 minutos	5 minutos	10 minutos	20 minutos
	Ano 0	-R\$ 35.742,77	-R\$ 35.742,77	-R\$ 35.742,77
Ano 1	R\$ 3.929,43	R\$ 3.797,94	R\$ 3.698,97	R\$ 3.649,49
Ano 2	R\$ 3.929,43	R\$ 3.797,94	R\$ 3.698,97	R\$ 3.649,49
Ano 3	R\$ 3.929,43	R\$ 3.797,94	R\$ 3.698,97	R\$ 3.649,49
Ano 4	R\$ 3.929,43	R\$ 3.797,94	R\$ 3.698,97	R\$ 3.649,49
Ano 5	R\$ 3.929,43	R\$ 3.797,94	R\$ 3.698,97	R\$ 3.649,49
Ano 6	R\$ 3.929,43	R\$ 3.797,94	R\$ 3.698,97	R\$ 3.649,49
Ano 7	R\$ 3.929,43	R\$ 3.797,94	R\$ 3.698,97	R\$ 3.649,49
Ano 8	R\$ 3.929,43	R\$ 3.797,94	R\$ 3.698,97	R\$ 3.649,49
Ano 9	R\$ 3.929,43	R\$ 3.797,94	R\$ 3.698,97	R\$ 3.649,49
Ano 10	R\$ 3.929,43	R\$ 3.797,94	R\$ 3.698,97	R\$ 3.649,49

Fonte: Dos autores (2020).

A partir dos fluxos de caixa estimados ao longo de dez anos, foram aplicados os métodos de valor presente líquido, *Payback* e taxa interna de retorno para a conclusão da análise econômica. As taxas mínimas de atratividade (TMA), isto é, o correspondente ao mínimo que um investidor espera ganhar ao final de um projeto, foram escolhidas com base nas taxas de rendimento da poupança e também na taxa Selic no mês de julho do ano de 2020, sendo assim, as taxas mínimas estabelecidas foram respectivamente 1,57 % e 2,25 % (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2020). A tabela 6, mostra os valores obtidos através dos métodos de análise de viabilidade econômica utilizados.

Tabela 6 – Resultados obtidos a partir da aplicação dos três métodos de viabilidade econômica apresentados sobre os quatro cenários técnicos propostos anteriormente, levando em consideração duas diferentes taxas mínimas de atratividade.

<b>Análise econômica</b>						
Intervalo entre atuação	Tempo de análise do investimento	Economia financeira anual	VPL (TMA = 1,57%)	VPL (TMA = 2,25%)	TIR	<i>Payback</i> (Anos)
3	10 anos	R\$ 2.729,43	R\$ 361,14	-R\$ 3.692,28	2%	9,01
5	10 anos	R\$ 2.597,94	-R\$ 847,00	-R\$ 4.748,05	1%	9,41
10	10 anos	R\$ 2.498,97	-R\$ 1.756,35	-R\$ 5.542,71	1%	9,66
20	10 anos	R\$ 2.449,49	-R\$ 2.210,97	-R\$ 5.940,00	0%	9,79

Fonte: Dos autores (2020).

Os resultados apresentados indicam que, em situações nas quais o intervalo entre o funcionamento dos exaustores é de 3 minutos, o investimento se torna rentável para uma TMA de 1,57% e o *payback* é menor que 10 anos. Entretanto, para uma TMA de 2,25%, tanto o VPL quanto a TIR demonstraram que a implementação do projeto não é economicamente atrativa. Mesmo que o *payback* indique que é possível pagar o investimento inicial dentro dos 10 anos estipulados para essa análise, o VPL e a TIR mostram que a implementação desse projeto não é financeiramente interessante em nenhum dos três últimos cenários apresentados.

## **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

### **4.1 Conclusão**

Ao final do presente trabalho, foi possível concluir que existem benefícios associados ao controle de temperatura, especialmente quando este for realizado da maneira proposta neste trabalho, podendo auxiliar ainda mais a comunidade acadêmica em pesquisas que envolvem o plantio controlado em casas de vegetação. Benefícios indiretos são esperados após a execução desse projeto, podendo ser destacado o beneficiamento do cultivo a medida que se minimiza o estresse térmico. Além dos benefícios vinculados ao controle de temperatura, a aquisição de um CLP para esta casa de vegetação abre possibilidades para que a automação da mesma possa ser levada a outro patamar futuramente, principalmente porque permite o uso de um sistema historiador responsável por fazer o armazenamento do comportamento de diferentes variáveis presentes na casa de vegetação, sendo assim, ampliando toda a base de dados utilizada no decorrer dos diferentes estudos futuramente associados a essa casa de vegetação.

Diante do exposto, apesar de evidências que apontam o sistema como não sendo economicamente viável, recomenda-se que o investimento seja feito, principalmente devida a relevância de todos os benefícios indiretos apresentados no decorrer do texto, pois todos são de grande importância para a comunidade científica.

### **4.2 Recomendações para trabalhos futuros**

Como indicação para trabalhos futuros, existe o estudo da viabilidade econômica da implementação de um sistema de irrigação automatizado que seja capaz de manter a umidade do solo o mais próximo possível do valor desejado, como também a umidade relativa do ar. Além disso, seria de grande valor a análise de viabilidade técnica sobre a implementação de um sistema de monitoramento ainda mais completo, abrangendo variáveis como: concentração de  $CO_2$ , índice de radiação solar e nutrição do solo, aumentando ainda mais a produtividade e o nível de controle das variáveis externas que podem influenciar na produção dos plantios em estudo.

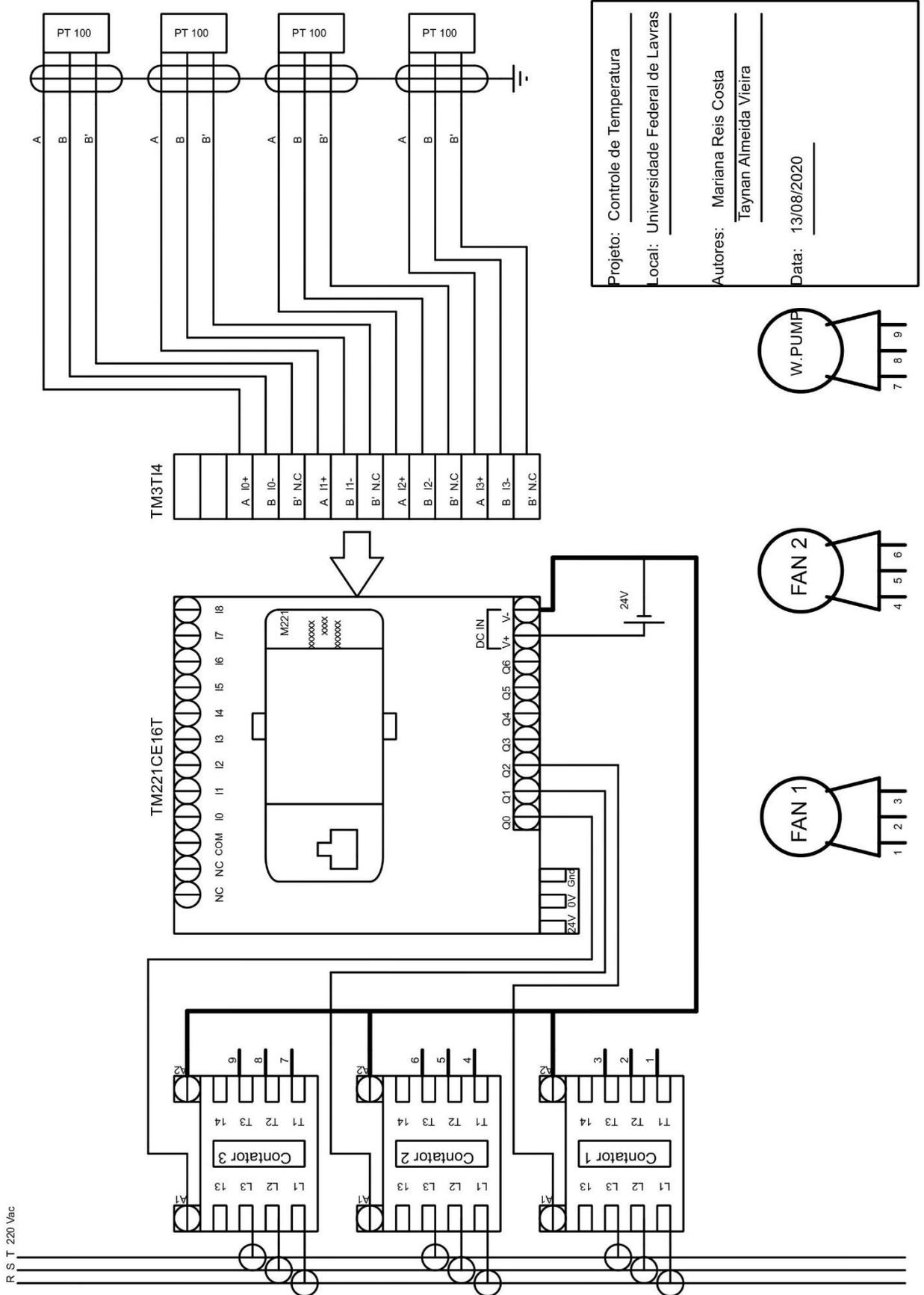
Há ainda como possibilidade de estudo para trabalhos futuros a análise de viabilidade técnica da substituição dos atuais exaustores por atuadores de menor porte, avaliando-se a economia financeira derivada da redução do consumo de energia elétrica, melhora na qualidade do controle de temperatura e conforto das plantas, especialmente no que diz respeito a velocidade do ar no interior na casa de vegetação.

## 5 REFERÊNCIAS

1. ANDERSON, John David; WENDT, J. **Computational fluid dynamics: an introduction**. 3rd ed. Berlin: Springer, 2008.
2. BANCO CENTRAL DO BRASIL. Taxa Selic. 2020. Disponível em <<http://www.bcb.gov.br/ptbr/#!/n/SELICTAXA>>. Acesso em: 11 de Julho de 2020.
3. BELTRÃO, Napoleão E. de M.; FIDELES FILHO, José; FIGUEIRÊDO, Ivana C. de M. **Uso adequado de casa-de-vegetação e de telados na experimentação agrícola**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 6, n. 3, p. 547-552, 2002.
4. TERUEL, Bárbara J. **Controle automatizado de casas de vegetação: Variáveis climáticas e fertigação**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.14, n.3, p.237–245, 2010.
5. BERGMAN, T. L. et al. **Incropera - Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019
6. CENGEL, Yunus A.; CIMBALA, John M. **Mecânica dos fluidos**. 3. ed. Porto Alegre: AMGH, 2015.
7. FORTUNA, Armando. de O. **Técnicas Computacionais para Dinâmica dos Fluidos Vol. 30**. São Paulo: Edusp, 2000.
8. GONDIM, TM de S.; CAVALCANTE, LOURIVAL FERREIRA; BELTRAO, NE de M. **Aquecimento global: salinidade e consequências no comportamento vegetal**. **Embrapa Algodão-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2010.
9. LEVITT, J. **Responses of plants to environmental stresses**. New York: Academic Press, 1972.
10. LUZIO, Eduardo. **Finanças corporativas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Senac Rio, 2020.
11. OLIVEIRA, M.R.V. de. **O emprego de casas de vegetação no Brasil: vantagens e desvantagens**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.30, n.8, p.1049-1060, 1995.
12. PETRUZELLA, Frank D. **Controladores lógicos programáveis**. AMGH Editora, 2014.
13. RINCON, MAURO A.; ISHIH, L. I. U. **Introdução ao método de elementos finitos: Computação e análise em equações diferenciais parciais**. Rio de Janeiro. Ed. UFRJ, 2020.
14. ROSS, Stephen A. et al. **Administração financeira**. AMGH Editora, 2015.
15. TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

16. Catálogo da empresa MUNTERS. Munters Driver in Exhaust Fans. 2020. Disponível em: <<https://www.munters.com/pt/munters/products/fans--light-filters/munters-drive-ec-motors/>>. Acesso em: 15 de Agosto de 2020.
17. SANTOS, D. F. **Manutenção de exaustores Munters e painel Celdek**. Seminário de manutenção de exaustores. Disponível em: <<https://seminario.munters.com.br>>. Acesso em 15 de agosto de 2020.

ANEXO A



## ANEXO B



À Universidade de Lavras

ORÇ.: 069\_20 REV.1

A/C: Taynan Almeida Vieira / Compras  
Data: 13 de agosto de 2020  
Página incluindo esta: 01

**REF.: Proposta Comercial**

Conforme solicitação de V.Sa, informamos condições de venda e fornecimento do(s) nosso(s) produto(s) abaixo relacionado(s).

### 1-) Hardware

#### Itens do orçamento

Quant.	Descrição	Valor Unitário R\$	Valor Total R\$
1	CONTROLADOR LOGICO PROGRAMAVEL M221 16IO TM221CE16T	3.182,25	3.182,25
1	MODULE TM3-4 INPUTS TEMPERATURE TM3TI4	2.305,02	2.305,02
4	SENSOR PT100 Genérico	95,00	380,00
50 M	CABO BLINDADO 3 FIOS PARA SENSOR PT100	32,11	1.605,50

**Total geral: R\$ 7.472,77**

### 2-) Serviços

- 10 hh Instalação + programação em campo comissionamento e Start up
- Deslocamento e estadia equipe

**Total Serviços: R\$ 4.150,00**

### 3-) CONDIÇÕES GERAIS

- Impostos: Empresa Optante pelo Simples Nacional
- Frete: FOB
- Garantia: 1 ano para todos os equipamentos, contados a partir da emissão da nota fiscal, excluindo-se os casos de defeito decorrente de má utilização, instalação ou estocagem inadequadas.

### 4-) CONDIÇÕES DE PAGAMENTO

- Faturado 28 ddl

**VALIDADE DA OFERTA: 10 (Dez) dias**

Sendo só para o momento, nos colocamos a disposição para esclarecimento de eventuais dúvidas.

Eng. [Redacted]





para mim

Boa tarde Taynan segue informações sobre os valores do Munters Drive:

- Motor eletrônico Munters Drive .....R\$ 14.000,00.
- Exaustor Munters modelo WM54.....R\$ 6.200,00.

-----  
R\$ 20.200,00.

Troca do motor comum do EM50 de 1cv por motor Munters Drive custa R\$ 14.000,00.

No caso da manutenção aconselhamos utilizar mão de obra local,por que o custo do técnico da Munters tem incluso,passagem aérea,carro alugado e estadia,para sua orientação segue palestra sobre manutenção dos exaustores Munters e dos paineis evaporativos,segue também catalogo de exaustores da linha ED36 ED30 e ED24 que são motores acoplados diretamente no eixo dispensando o uso de correias e polias.



Sales

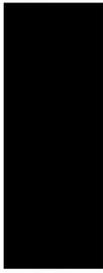


Rua [Redacted] Brazil

Tel: + 55 [Redacted] Mobile: +55 [Redacted]

E-mail: [Redacted] Web: [Redacted]

FACEBOOK | TWITTER | YOUTUBE | LINKEDIN



## ANEXO C

## ANEXO D

[Redacted]  
para mim ▾

Prezada Mariana,

Segue abaixo o orçamento solicitado.

1. Saída do técnico	R\$ 100,00.
2. Alinhamento de polias	R\$ 120,00.
3. Regulagem de polia do tensionador	R\$ 30,00.
4. Limpeza do motor	R\$ 50,00.
<b>Total =</b>	<b>R\$ 300,00.</b>

\*O orçamento não cobre reposição de peças, caso necessário, o valor será acrescentado.

Qualquer dúvida estamos à disposição.

Atenciosamente / Best regards,

[Redacted]

[Redacted]

+ 55 [Redacted]

+ 55 [Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Mensagem cortada] [Exibir toda a mensagem](#)

Orçamento aprovado.

Boa tarde!

Bom dia!