

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ALYSSON LEVY DE GUIMARÃES E SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE RESFRIAMENTO E
AQUECIMENTO CONTROLADO POR PLC DA SMAR**

VIÇOSA
2015

ALYSSON LEVY DE GUIMARÃES E SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE RESFRIAMENTO E
AQUECIMENTO CONTROLADO POR PLC DA SMAR**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. André Gomes Torres.

VIÇOSA
2015

ALYSSON LEVY DE GUIMARÃES E SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE RESFRIAMENTO E
AQUECIMENTO CONTROLADO POR PLC DA SMAR**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 09 de junho de 2015.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. André Gomes Torres - Orientador
Universidade Federal de Viçosa

Prof. Ketia Soares Moreira - Membro
Universidade Federal de Viçosa

Eng. Vinícius Leonardo Gadioli da Silva – Membro

“Sonhos determinam o que você quer. Ação determina o que você conquista.”
(Aldo Novak)

*Aos meus pais, Ana Maria e Manoel Carlos,
minhas irmãs, Daiane e Aline*

Agradecimentos

Agradeço a Deus que me trouxe aqui, certamente com uma missão.

Ao meu pai que me ensinou a nunca desistir dos meus objetivos. A minha mãe, Dona Ana, obrigado por todo cuidado e dedicação. As minhas irmãs, Aline e Daiane, com quem sempre pude contar. Família, esta conquista devo ao apoio constante de todos vocês. A Téis, pelos muitos momentos de alegria compartilhados e por ter me ensinado um jeito diferente de ver a vida.

Ao CNPq pelo apoio financeiro concedido, sem o qual esta pesquisa não teria sido possível.

Agradeço, por fim, ao professor André pelo seu apoio e dedicação.

Resumo

Na atualidade, são muitos os processos na indústria e na agropecuária que necessitam de temperatura estabilizada e com o desenvolvimento tecnológico surgiram novos equipamentos capazes de gerar uma diferença de temperatura. No contexto apresentado, este trabalho propõe a construção de um sistema com temperatura controlada, que utiliza como dispositivo principal uma Placa de Peltier.

Para que esse projeto fosse possível, além da placa de Pelier, utilizou-se o PLC, sensores, coolers e dissipadores.

Primeiramente, foi construída uma caixa térmica com uma placa de Peltier embutida. Logo depois, preparou-se circuitos para que pudesse conectar os dispositivos (sensores, coolers, placas) no PLC.

Com o sistema físico montado partiu para a parte de configuração e supervisão do sistema através do software fornecido pela Smar. Um sistema supervisorio foi elaborado para a monitoração e coleta de dados.

Os dados coletados revelou características do sistema e cuidados que se deve tomar na construção de um sistema com essas características.

Palavras-chave: Placa de Peltier, PLC, controle de temperatura, Transmissor de temperatura.

Sumário

1	Introdução	13
1.2	Objetivo Geral	13
2	Revisão Bibliográfica	14
2.1	Efeito Termoelétrico	14
2.1.1	Placa de Peltier	14
2.2	Sensores NTC	15
2.3	Controlador Lógico Programável (PLC)	16
2.4	Transmissor de temperatura (TT 302)	18
2.4.1	Diagrama de blocos do TT 302	19
2.5	Conversor Fieldbus para Corrente com Três Canais (FI 302)	21
2.6	Amplificador não Inversor	22
3	Materiais e Métodos	23
3.1	Confecção da Caixa Térmica	23
3.2	Circuitos elétricos	24
3.2.1	Circuito para os sensores NTC ligados no cartão de entrada analógica (DF 44)	25
3.2.2	Circuitos Coolers	25
3.2.3	Circuito Placa de Peltier	26
3.3	Configuração e Supervisão	27
3.3.1	Estratégia de controle.	29
4	Resultados	33
5	Conclusão	36
6	Referências	37

Lista de Figuras

Figura 1 - Placa de Peltier.....	15
Figura 2 - Módulos comerciais de Peltier e associação de módulos.....	15
Figura 3 - Encapsulamentos de termistores NTC.....	16
Figura 4 - Estrutura básica de um PLC.....	17
Figura 5 - Ciclo de varredura.....	18
Figura 6 - Diagrama de blocos TT 302.....	19
Figura 7 - Conversor Fieldbus para Corrente (FI 302).....	21
Figura 8 - Amplificador não inversor.....	22
Figura 9 - Esquema Caixa Térmica (Vista Superior).....	23
Figura 10 – Circuito para os sensores NTC (Circuito 1).....	25
Figura 11 - Circuito para o cooler conectado no FI 302 (Circuito 2).....	26
Figura 12 - Circuito para o cooler conectado no DF 46 (Circuito3).....	26
Figura 13 - Circuito Placa de Peltier (Circuito 4).....	27
Figura 14 - Janela para adicionar nova Bridge.....	28
Figura 15 - Processo de comissionamento para a DF 63.....	29
Figura 16 - Estratégia de Controle.....	30
Figura 17 - Tela principal do supervisório.....	31
Figura 18 - Gráficos de tendências do supervisório.....	32
Figura 19 - Gráfico da temperatura interna da caixa (Aquecimento).....	33
Figura 20 - Gráfico da temperatura interna da caixa (Resfriamento).....	33
Figura 21 - Temperatura da Placa exterior no processo de Aquecimento.....	34
Figura 22 -Temperatura da Placa exterior no processo de Resfriamento.....	34

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Ligações dos dispositivos	24
Tabela 2 - Combinações para acionamento da Placa de Peltier.	27

Lista de Abreviaturas e Siglas

AI *Analogic Input*

AO *Analogic Output*

E/S Entrada e Saída

MAI *Multiple Analog Input*

MAO *Multiple Analog Output*

PID Proporcional Integral Derivativo

1 Introdução

Os avanços nas ciências dos materiais, trazidos pela revolução dos semicondutores, permitiu que efeitos térmicos conhecidos desde século XIX se tornassem viáveis tecnologicamente. Uma dessas revoluções foi a transformação do Efeito Peltier em dispositivos para uso cotidiano [1].

Com o avanço tecnológico e o surgimento de novos equipamentos capazes de gerar uma diferença de temperatura, tornou-se possível fabricar sistemas térmicos menores e mais portáteis.

Os sistemas térmicos tomaram um novo rumo. Com técnicas modernas, a indústria hoje produz módulos termoelétricos capazes de bombear calor de modo eficiente para produzir um resfriamento ou aquecimento, utilizando um dispositivo 100 % estado sólido [1].

Os módulos termoelétricos, por serem pequenos, leves, funcionarem com potências baixas e serem capazes de gerar um grande diferencial de temperatura, vêm substituindo os convencionais métodos de aquecimento e resfriamento [2]. Além disso, eles possuem um controle de temperatura preciso e são totalmente silenciosas, não vibram.

Baseando nas características das placas termoelétricas e os avanços tecnológicos nessa área surgiu a motivação para desenvolver esse trabalho.

1.2 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo confeccionar um sistema térmico controlado por PLC, utilizando como componente principal a Placa de Peltier.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Efeito Termoelétrico

Termoeletricidade é um conjunto de fenômenos físicos que relacionam a temperatura com as propriedades elétricas dos materiais [3]. Esta relação permite a transformação direta de um gradiente de calor em eletricidade ou vice-versa. Dentre esses fenômenos, destacam-se dois de maior relevância em aplicações práticas, o efeito *Seebeck* e o efeito *Peltier*.

A termoeletricidade tem a sua origem em Alessandro Volta (1800), físico italiano. Volta concluiu que a eletricidade causadora dos espasmos nas pernas de sapo, estudadas por Luigi Galvani (1780), era devida a um contato entre dois metais diferentes. Essa conclusão foi a precursora do princípio da termoeletricidade [4]

O alemão Thomas Seebeck, no século XIX descobriu que quando dois condutores, ligados aos terminais de um galvanômetro e sujeito a uma variação de temperatura, surge uma diferença de potencial, indicada no galvanômetro. Este fenômeno é muito usado pelos engenheiros para medição precisa de temperatura com o que chamamos de termopares.

Cerca de 13 anos depois, um francês de nome J. Peltier, relojoeiro de profissão, verificou o efeito contrário ao de Seebeck. Peltier, utilizou uma montagem idêntica, mas inverteu o procedimento. Em vez de haver uma variação de temperatura no termopar, foi injetada uma corrente elétrica no local do galvanômetro tendo verificado que o termopar sofria uma variação de temperatura. Peltier teve dificuldade em efetuar uma relação entre a corrente elétrica e o calor absorvido [4].

Peltier e Seebeck não verificaram relacionamento entre as experiências que realizaram. Em 1855, W. Thomson aplicando os conceitos termodinâmicos existentes naquela época, conseguiu associar os dois experimentos através dos coeficientes de Seebeck e Peltier.

2.1.1 Placa de Peltier

A Placa de Peltier ou também chamado de módulo de Peltier é a maneira mais prática de se utilizar o efeito Peltier em larga escala, e consiste num arraço de pequenos blocos de telureto de bismuto - Bi_2Te_3 dopados tipo N e tipo P montados alternadamente e eletricamente

em série entre duas placas cerâmicas de boa condutividade térmica. Este arranjo faz com que todos os termoelementos bombeiem o calor na mesma direção - termicamente em paralelo [1]. Como pode ser visto na figura 1.

A direção do fluxo de calor depende do sentido da corrente que percorre a placa. Assim, é possível que a mesma esquente ou esfrie.

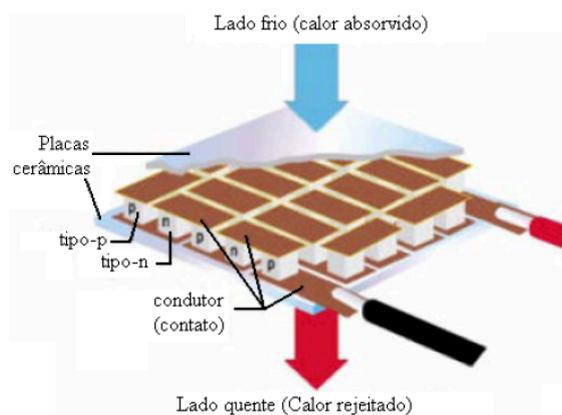


Figura 1 - Placa de Peltier

Os módulos podem variar de tamanho. Hoje é possível encontrar módulos desde 3,6 cm² a 25 cm², Figura 2. Além disso, eles podem ser agrupados eletricamente em série, paralelo ou série-paralelo. Em algumas aplicações usa-se o módulo de multiestágios, isto é, vários módulos termicamente em série para produção de uma maior diferença de temperatura.

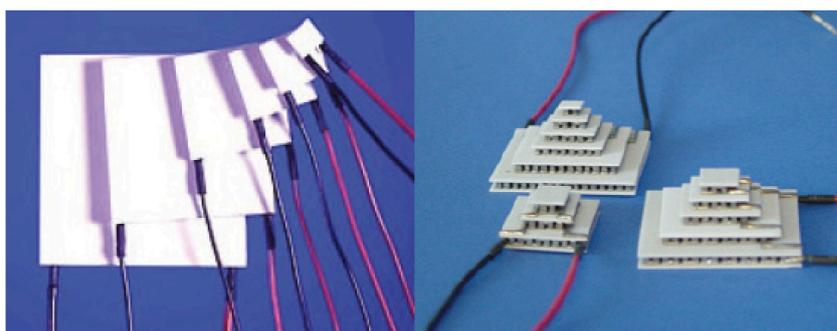


Figura 2 - Módulos comerciais de Peltier e associação de módulos.

2.2 Sensores NTC

Sem sombra de dúvida, uma das grandezas mais difíceis de ser mensurada e, principalmente, controlada é a temperatura. Isso porque além dos instrumentos e demais acessórios envolvidos na medição, os fatores externos também influenciam na medida e na operação do sistema como um todo. [5]

Os termistores, que têm seu nome oriundo do inglês *thermal resistors*, são resistores semicondutores sensíveis à temperatura e têm, de acordo com o seu tipo, um coeficiente de resistência. Por exemplo, os NTC's (*Negative Temperature Coefficient* – Coeficiente de Temperatura Negativo), são assim chamados pois a resistência desses componentes diminui quando a temperatura aumenta, ou seja, eles possuem um coeficiente de temperatura negativo [5].

Os termistores NTC geralmente são escolhidos quando uma mudança contínua de resistência é requerida sobre uma larga escala de temperatura.

Durante a utilização do termistor, é importante levar em consideração que ele apresenta uma faixa limite de operação. A temperatura adequada para a sua utilização varia de acordo com o fabricante e, caso não seja possível obter essa informação, é recomendado não expor o componente a temperaturas acima de 100° C, que é o limite de alguns componentes disponíveis no mercado [6]. A figura 3 mostra diversos encapsulamentos presente no mercado.



Figura 3 - Encapsulamentos de termistores NTC.

2.3 Controlador Lógico Programável (PLC)

Os Controladores Lógicos Programáveis ou CLPs, são equipamentos eletrônicos utilizados em sistemas de automação flexível. São ferramentas de trabalho muito úteis e versáteis para aplicações em sistemas de acionamentos e controle, e por isso são utilizados em grande escala no mercado industrial. Permitem desenvolver e alterar facilmente a lógica para acionamento das saídas em função das entradas. Desta forma, podemos associar diversos sinais de entrada para controlar diversos atuadores ligados nos pontos de saída [7].

A estrutura de um PLC pode ser representada em três partes, como mostrado na figura 4.



Figura 4 - Estrutura básica de um PLC.

Os sinais de entrada e saída do PLC podem ser do tipo analógico ou digital. Existem diversos tipos de módulos de entrada e saída que se adequam as necessidades do sistema a ser controlado.

Quando o PLC é ligado, uma rotina de inicialização é rodada, essa rotina faz a verificação geral do sistema, tais como reconhecimento dos módulos de entrada e saída, estado da memória. Após a verificação de hardware começa o ciclo de varredura que consiste em verificar os estados das entradas do PLC. Então, os dados das entradas são transferidos para a unidade de memória interna denominada memória imagem de entrada. Estes sinais são associados entre si e aos sinais internos. Ao término do ciclo de varredura, os resultados são transferidos à memória imagem de saída e então aplicados aos terminais de saída. Este ciclo esta representado na figura 5.

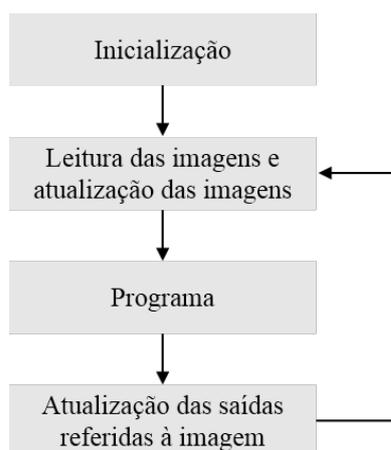


Figura 5 - Ciclo de varredura.

O DFI302, que será utilizado nesse trabalho, é um controlador multiprotocolo e um dos mais flexível do mercado. Alia poderosas características de comunicação com acesso direto aos módulos de E/S e controle avançado para aplicações contínuas e discretas. Ele é completamente configurado através dos blocos funcionais disponíveis no padrão FOUNDATION fieldbus. Isto permite que o sistema todo (DFI302 e equipamentos de campo) possa ser completamente configurado por um único aplicativo.

O DFI302 é projetado com as tecnologias mais recentes. O uso dessas tecnologias, como OPC (*OLE for Process Control*), faz do DFI302 a mais flexível interface no mercado.

O servidor OPC permite que o DFI302 seja conectado a qualquer pacote de supervisão. O único requisito é a existência de um cliente OPC para o pacote. O DFI302 pode ser conectado com as melhores interfaces de supervisão disponíveis customizando o SYSTEM302 que é uma plataforma de controle e automação de processos desenvolvida pela SMAR. [8]

2.4 Transmissor de temperatura (TT 302)

O transmissor de temperatura TT302 é um equipamento apropriado para medições de temperatura usando termoresistências ou termopares. O TT302 é um equipamento FIELDBUS. FIELDBUS é um Protocolo digital para comunicação de instrumentos de campo, atualmente suportado pela *Fieldbus Foundation*. Esse protocolo veio para substituir o protocolo 4-20 mA. Graças a esse protocolo o TT302 possui dois canais, isto é, pode fazer

duas medidas, reduzindo assim o custo de implementação. Além disso, ele possui um controle PID embutido, reduzindo a comunicação e o tempo morto.

2.4.1 Diagrama de blocos do TT 302

O diagrama de blocos do TT302 pode ser observado na Figura 6.

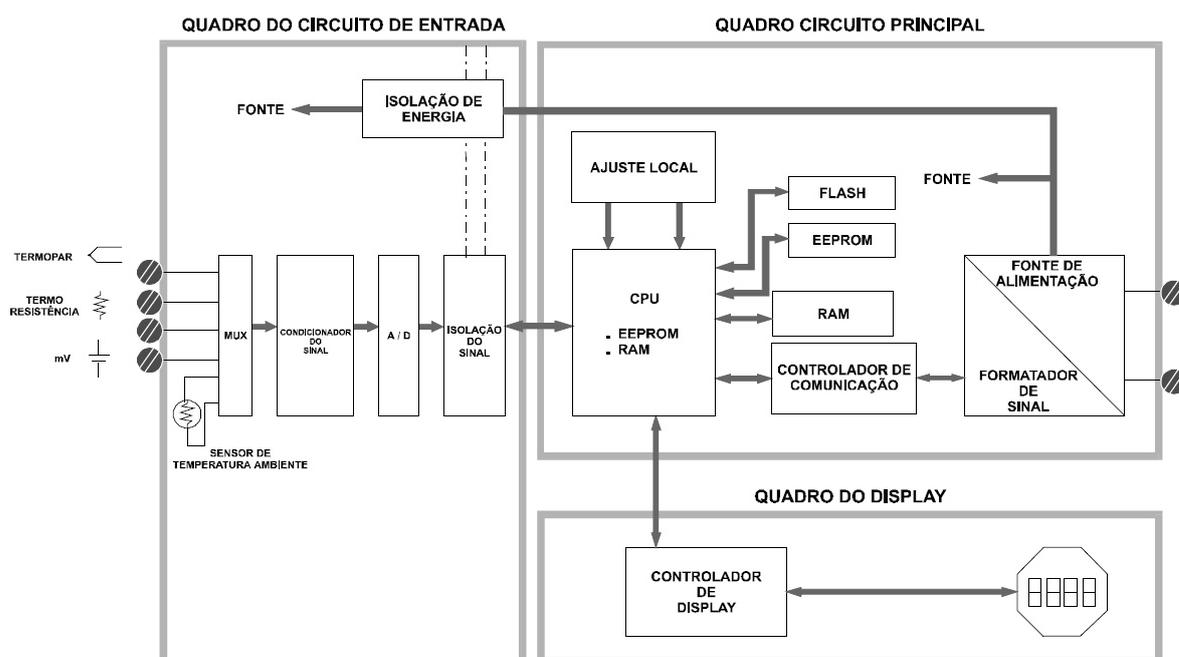


Figura 6 - Diagrama de blocos TT 302

Os seguintes blocos estão presentes no transmissor de temperatura TT302 e suas funções estão descritas abaixo:

MUX – Multiplexador

O Multiplexador capta o sinal de entrada vindo dos sensores e multiplexa esse sinal para a seção condicionadora, esse dispositivo garante que as tensões sejam medidas entre os terminais corretos. O multiplexador basicamente converte várias entradas em uma única saída.

Condicionamento do Sinal

Como o sinal dos sensores são muito baixos, até 500 mV, é necessário fazer o condicionamento do sinal, neste caso aplicar o ganho correto para que o conversor A/D possa atuar de forma eficaz e exata.

Conversor A/D

O conversor A/D transforma o sinal que até essa etapa era analógico em digital para que a CPU possa interpreta-lo.

Isolador do Sinal

Tem como função isolar o sinal de dados e de controle entre a entrada e a CPU.

Unidade Central de Processamento (CPU), RAM, PROM e EEPROM

A CPU é responsável pelo controle interno do processo. O programa é armazenado na memória PROM externa, para armazenamento temporário é utilizado a memória RAM, além disso, os dados que não podem ser perdidos com a falta de energia como: trim, calibração, configuração de blocos e identificação de dados, são armazenados na memória EEPROM.

Controlador de Comunicação

Monitora a linha ativamente, modula e demodula os sinais de comunicação, e insere e deleta delimitadores de início e fim.

Controlador do Display

Responsável pela atualização do Display de Cristal líquido.

2.5 Conversor Fieldbus para Corrente com Três Canais (FI 302)

O FI302 é um conversor destinado a conectar Sistemas *Foundation Fieldbus* com atuadores e posicionadores de válvulas de controle 4 - 20 mA, tal equipamento pode ser observado na Figura 7. O FI302 produz uma saída de 4 - 20 mA proporcional à entrada recebida pela rede Foundation Fieldbus. [9]

O conversor possui blocos de funções que facilitam a implementação da estratégia de controle, com isso não é necessário equipamentos separados. Dentre os blocos mais importantes tem-se: PID, seletor de entrada, aritmético, caracterizador de sinal e integrador.



Figura 7 - Conversor Fieldbus para Corrente (FI 302)

2.6 Amplificador não Inversor

É o circuito mais simples que pode ser utilizado na amplificação de sinais. A entrada é conectada à porta não inversora. A tensão de saída não é invertida e seu valor é sempre maior do que a tensão de entrada [10].

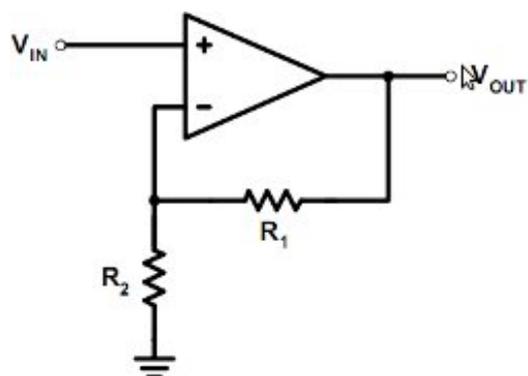


Figura 8 - Amplificador não inversor.

3 *Materiais e Métodos*

Esse projeto basicamente foi dividido em três etapas. A primeira etapa é a confecção da caixa térmica com todos dispositivos necessários como: coolers, sensores e a placa termoelétrica. A segunda etapa foi a elaboração de circuitos necessários para conectar tais dispositivos no PLC e por último foi a configuração e monitoração do sistema como um todo.

3.1 *Confecção da Caixa Térmica*

Para a confecção da caixa térmica controlada por PLC foram necessários:

- 1 Caixa de isopor média
- Senores NTC
- Coolers com dissipadores
- 1 Placa de Peltier

A disposição dos dispositivos na caixa podem ser observados na figura 9.

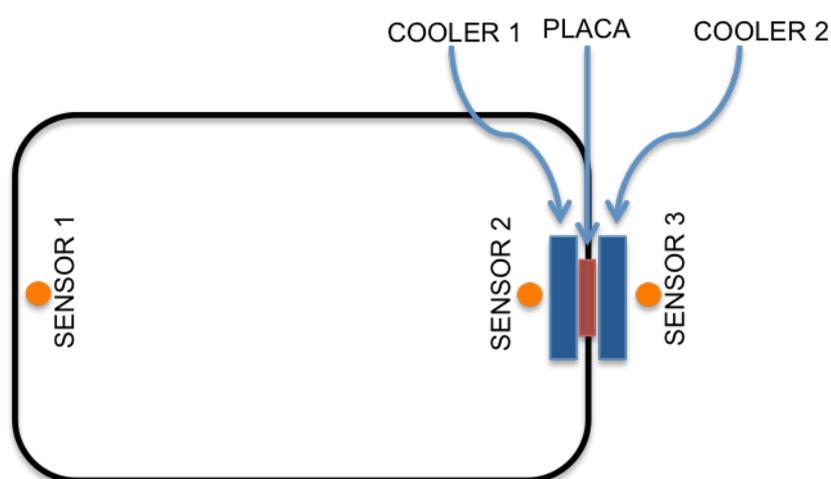


Figura 9 - Esquema Caixa Térmica (Vista Superior)

O sensor 1 foi utilizado para medir a temperatura interna do sistema. Os sensores 2 e 3 monitoraram a temperatura dos dois lados da Placa Termoelétrica.

Para evitar superaquecimento das placas, o uso de dissipadores de calor e ventiladores é obrigatório tanto do lado quente quanto do lado frio. Para a montagem, recomenda-se o uso de pasta térmica entre a placa e o dissipador, para que se aumente a eficiência de troca térmica [3]

Na caixa foi feito um orifício e a Placa de Peltier foi inserida nesse orifício para a isolação térmica utilizou-se espuma de poliuretano.

3.2 Circuitos elétricos

A caixa acima descrita foi controlada por um PLC, além desse, utilizou-se um transmissor de temperatura (TT 302) e um conversor de corrente (FI 302). O PLC utilizado foi o PLC da Smar – DFI 302, o qual possui controle para aplicações contínuas e discretas, além do acesso E/S direto. Tais equipamentos foram distribuídos de acordo com a Tabela 1. Essa distribuição foi feita pensando num melhor aproveitamento dos equipamentos disponíveis no no Laboratório de Estudos de Padrões de Movimento e Variáveis de Processo (LEPP) do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Viçosa., onde esse trabalho foi desenvolvido.

LIGAÇÕES DOS DISPOSITIVOS			
DISPOSITIVO	LIGAÇÃO	CIRCUITO	MÓDULO DO PLC
SENSOR 1	TT 302	-	-
SENSOR 2	ENTRADA ANALÓGICA	CIRCUITO 1	DF 44
SENSOR 3	ENTRADA ANALÓGICA	CIRCUITO 1	DF 44
COOLER 1	FI 302	CIRCUITO 2	-
COOLER 2	SAÍDA ANALÓGICA	CIRCUITO 3	DF 46
MÓDULO PELTIER	SAÍDA DIGITAL	CIRCUITO 4	DF 28

Tabela 1 - Ligações dos dispositivos.

As ligações entre os dispositivos da caixa e o sistema de controle não são feitas diretamente, exceto o sensor 1, que é ligado diretamente ao transmissor de temperatura (TT 302). Essa ligação é direta visto que, o próprio transmissor tem seu circuito interno capaz de fazer o condicionamento do sinal. Para todos os outros dispositivos foram necessários circuitos condicionadores de sinal, que serão descritos a seguir.

3.2.1 Circuito para os sensores NTC ligados no cartão de entrada analógica (DF 44)

O comportamento da resistência elétrica em função da temperatura para um termistor NTC típico não é linear, o que exige a aplicação de alguma estratégia de linearização de sua curva característica [11].

Para a linearização da resposta do termistor, utilizou-se um divisor de tensão que é constituído por um termistor, um resistor e uma fonte de tensão de excitação constante, conforme o esquema elétrico indicado na Figura 10.

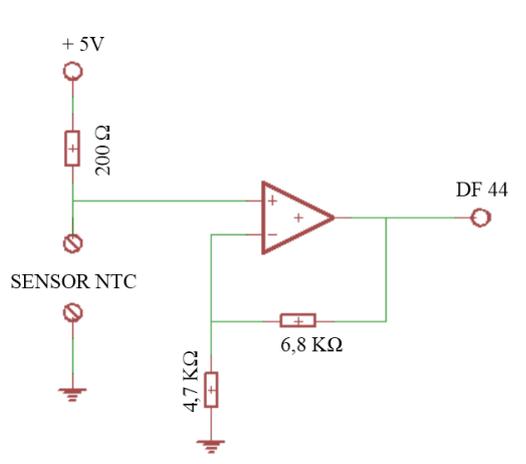


Figura 10 – Circuito para os sensores NTC (Circuito 1).

Analisando a figura 10, tem-se que a tensão sobre o sensor é:

$$V_{NTC} = \frac{5 \cdot R_{NTC}}{R_{NTC} + 200}$$

V_{NTC} – Tensão medida no sensor

R_{NTC} – Resistência do sensor

E a tensão recebida pelo PLC (V_{DF44}) é dada pela formula:

$$V_{DF44} = \left(1 + \frac{6,8 K}{4,7 K}\right) \cdot V_{NTC}$$

A tensão V_{DF44} tem uma variação máxima de 0 a 10V.

3.2.2 Circuitos Coolers

Para os coolers foram preparados circuitos com transistores TBJ atuando na região de amplificação e tais circuitos estão mostrados nas figuras 11 e 12.

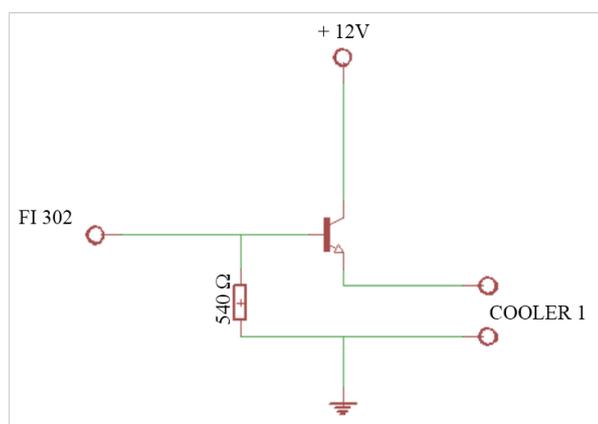


Figura 11 - Circuito para o cooler conectado no FI 302 (Circuito 2).

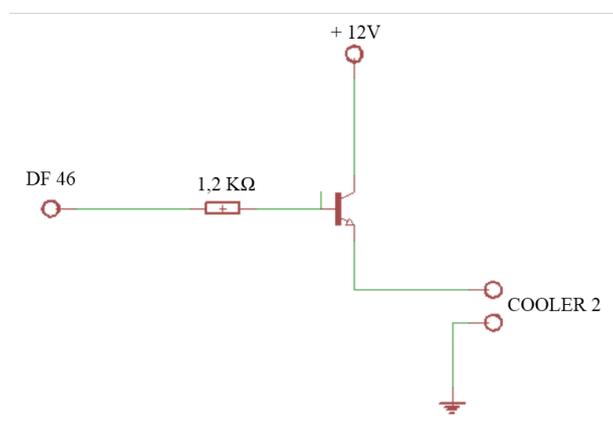


Figura 12 - Circuito para o cooler conectado no DF 46 (Circuito3).

As resistências presentes nos dois circuitos foram necessárias para limitação da corrente. O FI 302 fornece uma corrente de 4 a 20 mA e o DF 46 uma tensão de acordo com a estratégia de controle adotada, podendo variar de 0 a 10V, devido a essa diferença na entrada, os circuitos também são diferentes.

3.2.3 Circuito Placa de Peltier

A Placa de Peltier será ligada no módulo DF 28 do PLC, esse é um modulo de saída a relé de alta densidade. Este modulo é projetado para chavear lâmpadas piloto, válvulas, bem como bobinas de relés até 5A por saída. Os relés podem acionar cargas de 20 a 110 Vdc ou de 20 a 250 Vac [8].

Apesar da corrente aceita pelo modoulo ser compatível com a corrente da Placa de Peltier, o acionamento da mesma será feita por relés externos (12 Vdc/10A), por precaução,

evitando assim que circulem altas correntes no PLC. O circuito com relés pode ser observado na figura 13.

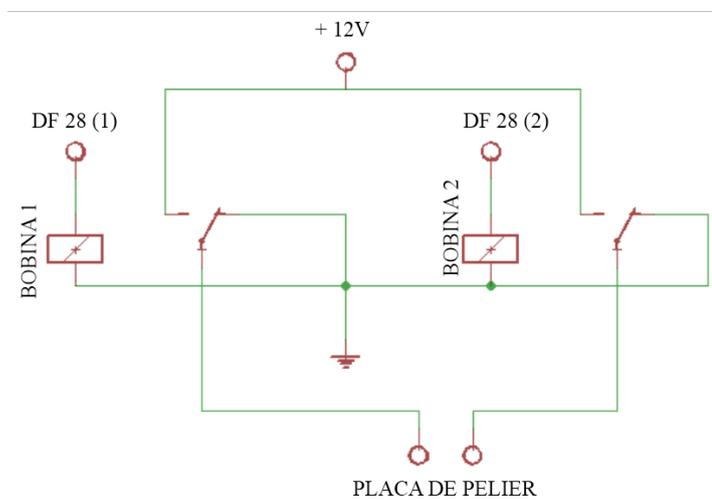


Figura 13 - Circuito Placa de Peltier (Circuito 4)

Observando a figura, nota-se que foram necessários dois relés e de acordo com o sinal enviado para as bobinas conectadas no cartão DF 28 a placa esquentava, esfriava ou desligava de acordo com a lógica aprensetada na Tabela 2.

SAÍDA ANALÓGICA 1	SAÍDA ANALÓGICA 2	V _O (V)
0	0	0
0	1	-12
1	0	12
1	1	0

Tabela 2 - Combinações para acionamento da Placa de Peltier.

3.3 Configuração e Supervisão

Para a configuração e supervisão de todo o sistema foi utilizado o Syscon. O Syscon é uma ferramenta que configura, supervisiona e opera a mais recente linha de equipamentos da SMAR utilizando a nova série de controladores para realizar a comunicação.

Além do Syscon foi necessário utilizar ferramentas auxiliares, fornecidas pelo próprio fabricante. O LogicView foi necessário para fazer a programação em Ladder dos cartões de E/S e o Process View foi utilizado para elaborar um Sistema Supervisorio.

Uma configuração prévia do sistema deve ser feita para que haja a correta comunicação entre o PC, o CLP e os módulos. Após a comunicação entre o PC e PLC estabelecida foi feita a configuração do PLC através do Syscon. Primeiramente foi adicionada uma Bridge, que nesse caso foi a DF 63. Todo dispositivo adicionado ao projeto deve ter uma Device Tag associada, como pode ser visto na Figura 14.

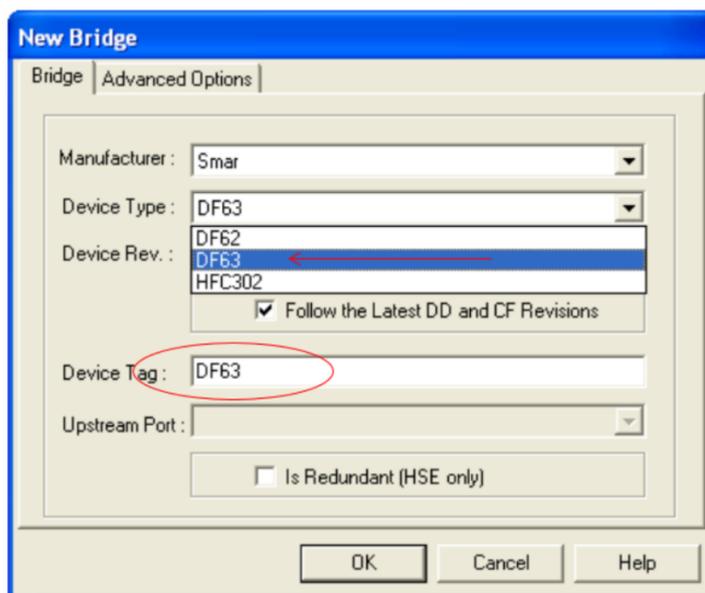


Figura 14 - Janela para adicionar nova Bridge

Com a bridge já incluída no projeto, pôde-se adicionar os outros dois instrumentos presente no sistema. Para isso, foi necessário adicionar um canal H1, que é uma rede Foundation Fieldbus com baixa velocidade (31,25 kbps), concebida para interligação de instrumentos. O canal é inserido dentro da Bridge DF 63 clicando com o botão direito do mouse sobre ela e posteriormente em New Fieldbus.

O transmissor de temperatura (TT 302) e o Conversor de corrente (FI 302) foram adicionados dentro do Canal H1.

Após adição de todos os equipamentos de controle foi necessário fazer o comissionamento, para isso deve-se clicar com o botão direito do *mouse* sobre o equipamento e posteriormente em Comission e posteriormente escolhe-se o Device Id, que é o dispositivo físico que se deseja associar. Esse processo para a DF 63 está demonstrado na figura 15. O mesmo processo foi repetido TT 302 e FI 302.

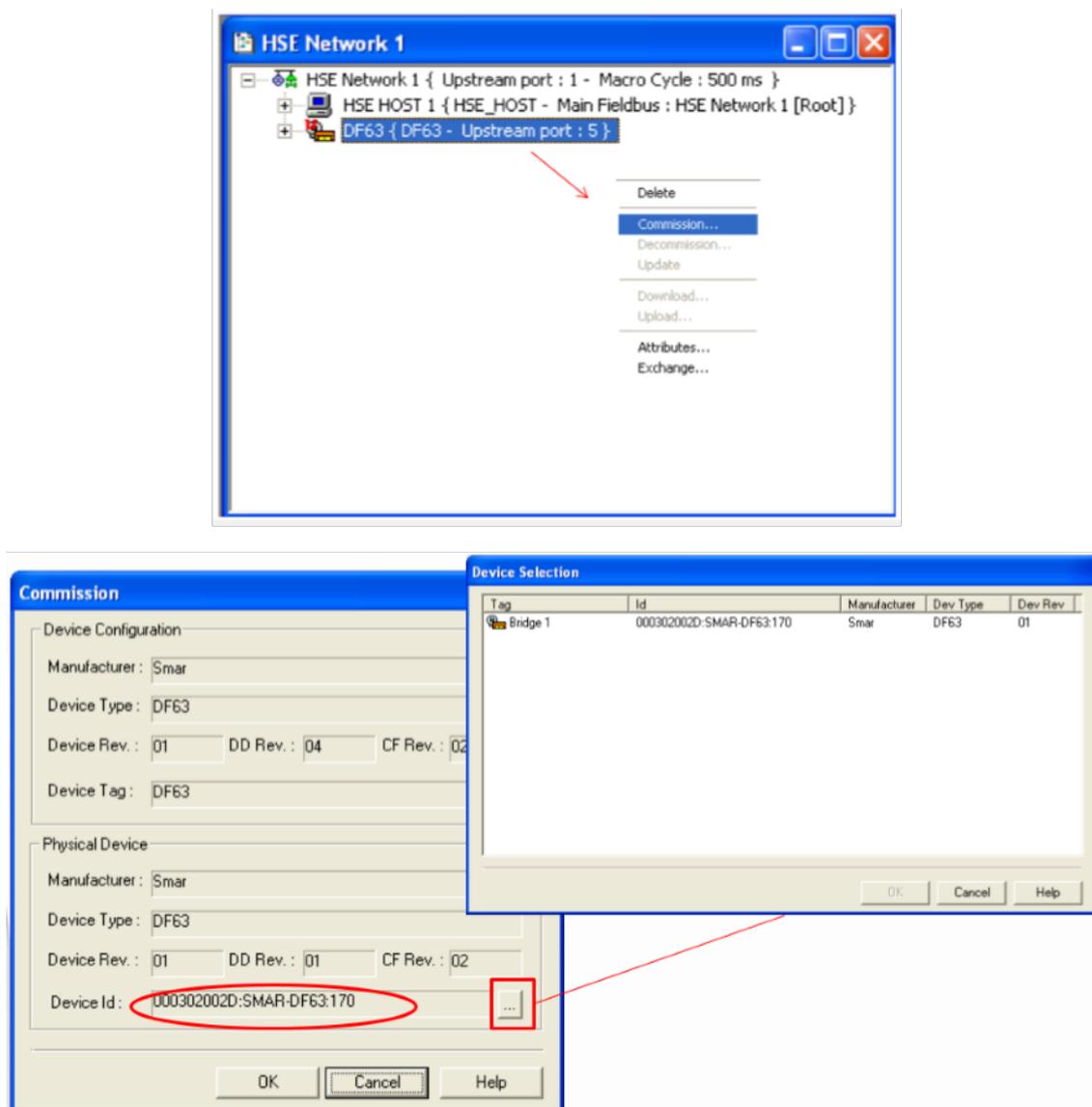


Figura 15 - Processo de comissionamento para a DF 63.

A estratégia de controle adotada foi definida logo após todos os equipamentos de controle adicionados e comissionados.

3.3.1 Estratégia de controle.

Para o controle de temperatura da caixa, uma temperatura deve ser escolhida pelo usuário, a do Sensor 1. A partir dessa temperatura, a placa de Peltier terá seu fluxo de calor em um determinado sentido. O cooler externo é controlado por um controlador PID adicionado no FI 302, e sua velocidade é proporcional a diferença da temperatura ideal de trabalho escolhida e a temperatura real fornecida pelo sensor 3.

O cooler interno, quando a caixa está no processo de resfriamento ele permanece ligado durante todo o processo. Quando a caixa está aquecendo o cooler liga a cada três minutos permanecendo ligado por dois minutos.

A estratégia foi elaborada através do Syscon, dentro do projeto já criado, e pode ser observada na Figura 16.

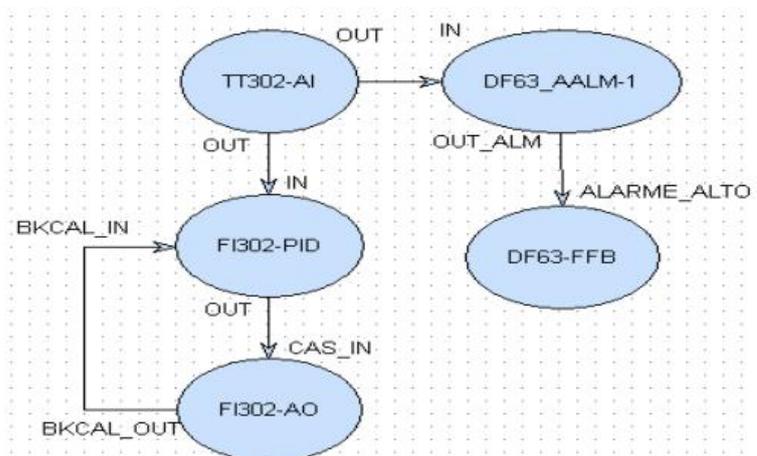


Figura 16 - Estratégia de Controle.

A entrada do PID é a temperatura externa da placa fornecida através do bloco AI do TT 302, e a saída é disponibilizada para o bloco AO do FI 302. Além disso, essa temperatura do TT 302 é enviada para um bloco de alarme (DF_AALM-1). Caso essa temperatura chegue no valor igual a 40 ° C, que foi escolhido como limite máximo para segurança da placa, um sinal é disparado para o bloco FFB da DF 63 indicando que o sistema de resfriamento está com um problema e o sistema é desligado. Através do bloco FFB foi possível adicionar o ladder no projeto, que será responsável por controlar a Placa de Peltier, o cooler interno, além de fazer a leitura dos sensores conectados no modulo de entrada analógica.

O LogicView trabalha com a lógica ladder com blocos funcionais, cujos terminais são conectados por endereçamento, assim a visualização do programa não segue a linha tradicional de conexões em série ou cascata [10].

Para a aquisição de dados dos sensores, foi utilizado o bloco MAI. Como os sensores fornecem um tensão proporcional a temperatura, blocos matemáticos foram utilizados para linearizar essas medidas e fornecer o valor em °C.

O cooler interno foi acionado pelo bloco MAO, onde é possível escolher o valor da tensão de saída.

Após o sistema todo montado e configurado, elaborou-se um sistema supervisorio, onde foi possível fazer o monitoramento do sistema e analisar gráficos de tendências.

O supervisorio criado, basicamente pode ser dividido em cinco partes, como mostrado na figura 19.

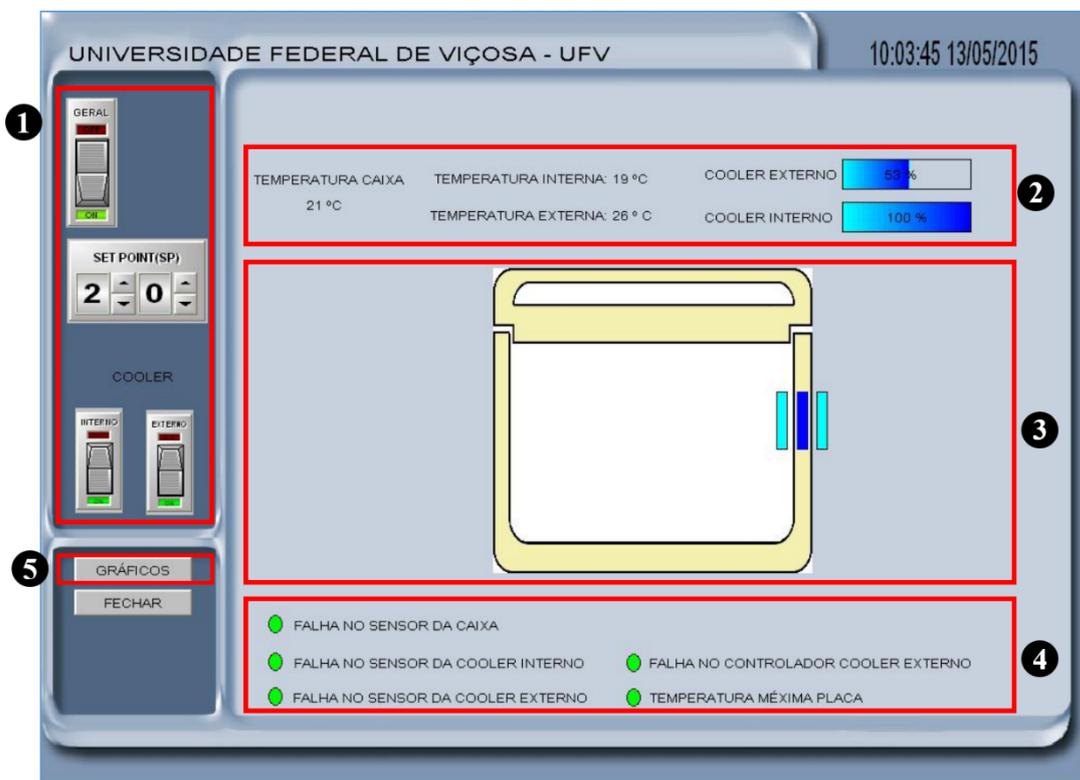


Figura 17 - Tela principal do supervisorio.

1. Essa parte foi destinada para efetuar os comandos no sistema, aqui é possível ligar e desligar o sistema como um todo além de controlar os coolers.
2. Aqui foi possível fazer o monitoramento das variáveis do sistema, podendo assim ver as temperaturas dos sensores e velocidades dos sensores.
3. Tem-se aqui uma representação do sistema em estudo.
4. Esse espaço foi destinado para mostrar ao usuário alarmes de falha do sistema.
5. Através desse botão, é possível visualizar os gráficos de tendências. De acordo com a figura 20, nota-se que são mostrados dois gráficos de tendências, o primeiro foi destinado aos três sensores e o segundo para os dois coolers.

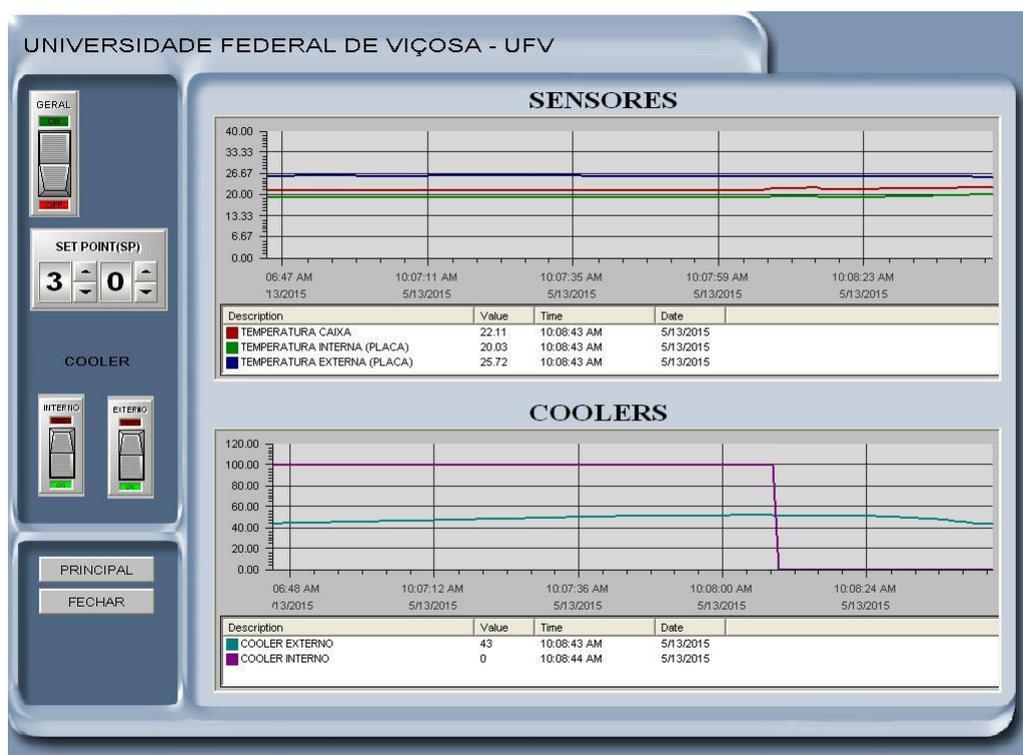


Figura 18 - Gráficos de tendências do supervisório.

A partir dos gráficos, foi possível analisar o funcionamento do sistema e os resultados podem ser observados adiante.

4 Resultados

Para análise do sistema, primeiramente foi escolhido um Set Point de 30° C e posteriormente o sistema foi resfriado, escolhendo um Set Point de 20° C.

Os gráficos das figuras 19 e 20 mostram a evolução das temperaturas nos dois processos, o de aquecimento e o de resfriamento.

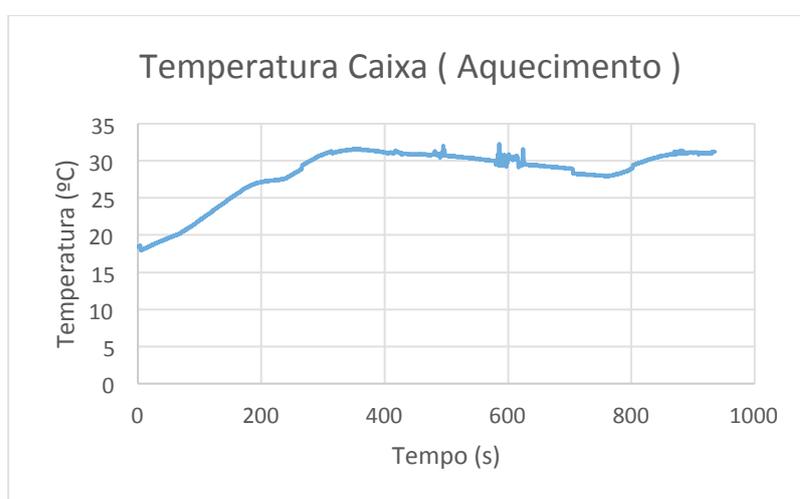


Figura 19 - Gráfico da temperatura interna da caixa (Aquecimento).

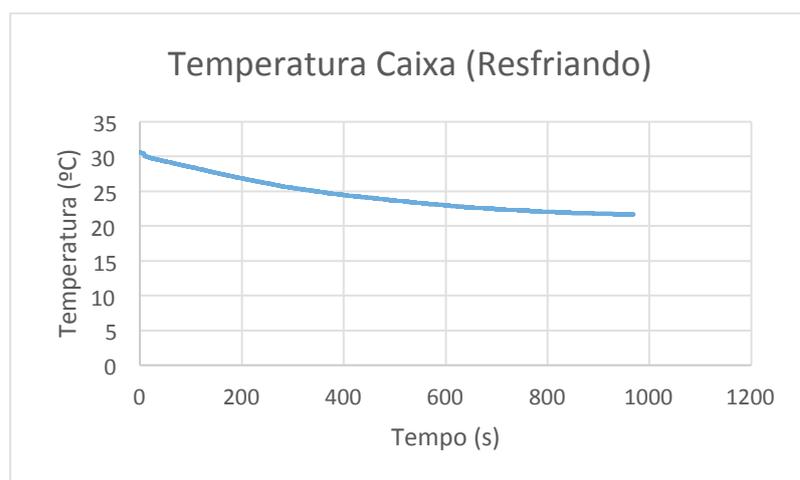


Figura 20 - Gráfico da temperatura interna da caixa (Resfriamento).

Primeiramente, pode-se observar que o processo de aquecimento é mais rápido. O sistema precisou de aproximadamente três minutos para variar sua temperatura de 22°C a 30°C. Já o processo de resfriamento é mais lento, gastando aproximadamente treze minutos

para percorrer a mesma faixa de valor do processo anterior no sentido contrário. A faixa escolhida de trabalho foi de 20°C a 30°C. Porém, na etapa de resfriamento o sistema não conseguiu atingir a temperatura mínima escolhida de 20°C. O mínimo alcançado foi 21,67°C, para valores menores que esse seria necessário fazer melhorias físicas no sistemas, como por exemplo, a colocação de outra placa de peltier.

A temperatura externa desejável da placa foi de 26° C ou inferior, para isso o PID que controlou o cooler externo teve seu Set Point ajustado para esse valor. Vale lembrar, que não está nos objetivos desse projeto a modelagem do sistema, por isso os parâmetros do PID foram escolhidos através do método tentativa e erro de maneira que o cooler conseguisse manter a temperatura externa da placa inferior ao valor escolhido na maior parte do tempo.

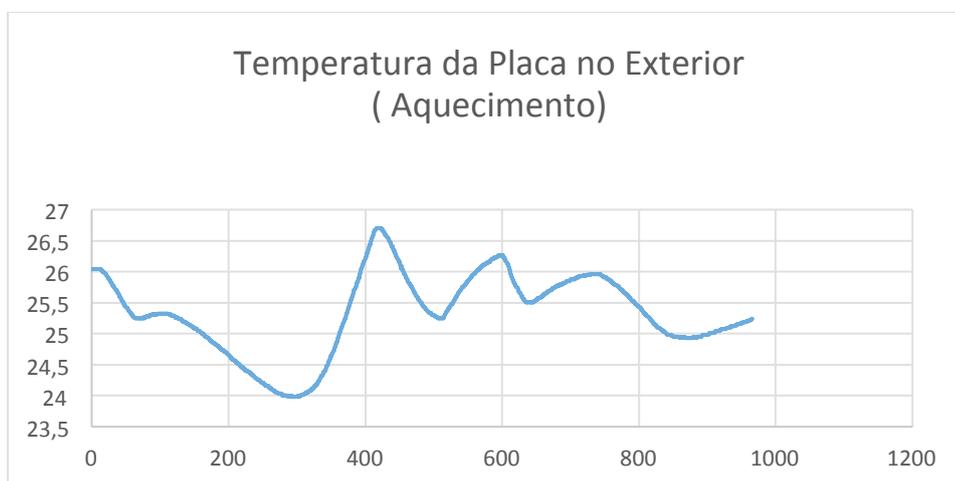


Figura 21 - Temperatura da Placa exterior no processo de Aquecimento.

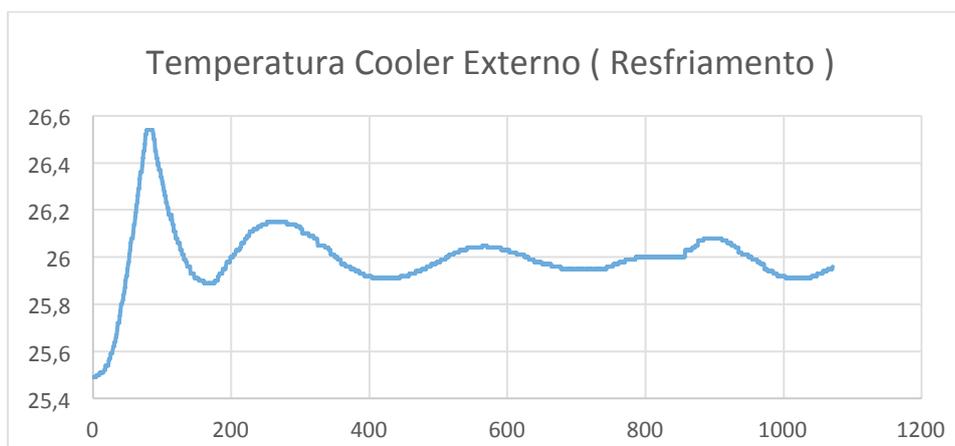


Figura 22 - Temperatura da Placa exterior no processo de Resfriamento.

Apesar dos parâmetros do PID serem escolhidos aleatoriamente, sua atuação teve um resultado satisfatório, não deixando a temperatura ultrapassar os 26°C. Esse resultado pode ser observado nas figura 21 e 22.

Para o processo de aquecimento, a estratégia de controle adotada que foi de desligar o cooler por um determinado tempo, permitiu que a placa esquente mais, tornando o processo mais eficiente.

5 Conclusão

Após todo o processo, desde a confecção do sistema térmico até a verificação do sistema, através do monitoramento das variáveis do mesmo. Pode-se perceber que é possível construir um sistema térmico utilizando placa de peltier e controlar o mesmo através do PLC.

O sistema possui algumas limitações que devem ser levadas em conta na elaboração de um projeto como esse. Por exemplo, neste caso, a temperatura mínima alcançada pela placa foi 19,01°C e do sistema como um todo foi de 21,67°C. Para valores menores que esse é necessário fazer uma associação de Placas. Outro fato que deve ser levado em consideração é o tempo no processo de resfriamento, dependendo da aplicação pode ser um obstáculo.

Algumas melhorias podem ser implementadas nesse sistema. Primeiramente para uma maior eficiência do sistema, acrescentar mais placas de Peltier. Implementar um controle PID para o cooler interno e fazer uma modelagem do sistema podem trazer melhoras significativas para o sistema, possibilitando o sistema trabalhar em outras faixas de temperatura.

O sistema funcionou de maneira satisfatória para a faixa de temperatura de 22°C a 30°C, para outros valores é necessário fazer melhorias no sistemas, como as citadas acima.

6 Referências

- [1] J. A. d. S. Moura, "Filmes Nanométricos de FeN e AlN crescidos por Sputtering e Aplicações de Peltier," in *Tese de Doutorado*, Natal, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010, pp. 97-114.
- [2] A. D. Agnol, H. Z. Niencheski, K. Kraemer and D. M. Tatsh, "Geladeira de Peltier," Porto Alegre -, Universidade Federal Rio Grande do Sul, 2009, p. 7.
- [3] J. D. F. S. Fernandes, A. Braz and L. Machado, "Refrigeração Utilizando Pastilhas de Efeito Peltier," *Holos*, 2010, pp. 25-31.
- [4] A. E. S. S. Fernandes, "Conversão de Energia com Células de Peltier," Universidade Nova de Lisboa, 2012, pp. 32-37.
- [5] *Mecatronica atual*, "Sensores térmicos NTC e PTC," *Mecatrônica Atual*, 21 08 2013. [Online]. Available: <http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/1055-sensores-trmicos-ntc-e-ptc-parte-1?showall=&start=1>. [Accessed 13 05 2015].
- [6] L. F. Patsko, "Tutorial Aplicações, Funcionamento e Utilização de Sensores," Maxwell Bohr - Instrumentação Eletrônica, 2006, p. 13.
- [7] B. S. S. Filho, "Curso de Controladores Lógicos Programáveis," Universidade do Estado do Rio de Janeiro, p. 5.
- [8] SMAR, "Manual do Usuário - Fieldbus Universal Bridge (DFI302)," 2014.
- [9] Smar, "Manual do Usuário FI 302," 2014.
- [10] P. B. P. Corrêa, "Desenvolvimento de um sistema de instrumentação para controle de temperatura e umidade via CLP," Viçosa, 2011.
- [11] P. H. Guadagnini and V. E. Barlette, "Um termômetro eletrônico de leitura direta com termistor," Porto Alegre, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, 2005.