

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

AURÉLIO CASSIANO MIZANI

LUCAS CARRIJO ELIAS DE SOUZA

**SOLUÇÃO AUTOMATIZADA PARA
AUMENTO DA EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA E REDUÇÃO DO CUSTO
ENERGÉTICO EM CONDOMÍNIOS
RESIDENCIAIS**

São Carlos

2013

AURÉLIO CASSIANO MIZANI

LUCAS CARRIJO ELIAS DE SOUZA

**SOLUÇÃO AUTOMATIZADA PARA
AUMENTO DA EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA E REDUÇÃO DO CUSTO
ENERGÉTICO EM CONDOMÍNIOS
RESIDENCIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de
Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação

ORIENTADOR: Prof. Dr. Dennis Brandão

São Carlos

2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

M685s Mizani, Aurélio Cassiano
Solução automatizada para aumento da eficiência energética e redução dos custo energético em condomínios residenciais / Aurélio Cassiano Mizani, Lucas Carrijo Elias de Souza ; orientador Dennis Brandão. -- São Carlos, 2013.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

1. Controlador lógico programável. 2. Controle PID. 3. Automação residencial. 4. Consumo residencial de energia elétrica. 5. Eficiência energética. 6. Chuveiro. I. Souza, Lucas Carrijo Elias de. II. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Aurélio Cassiano Mizani

Título: "Solução automatizada para aumento da eficiência energética e redução do custo energético em condomínios residenciais"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 21 / 11 / 13,

com NOTA 7,4 (sete, quatro), pela Comissão Julgadora:

Prof. Associado Dennis Brandão - (Orientador - SEL/EESC/USP)

Prof. Dr. Azauri Albano de Oliveira Júnior - (SEL/EESC/USP)

Prof. Assistente Carlos Goldenberg - (SEL/EESC/USP)

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Prof. Associado Homero Schiabel

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Lucas Carrijo Elias de Souza

Título: “Solução automatizada para aumento da eficiência energética e redução do custo energético em condomínios residenciais”

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 21 / 11 / 13,

com NOTA 7,4 (sete, quatro), pela Comissão Julgadora:

Prof. Associado Dennis Brandão - (Orientador - SEL/EESC/USP)

Prof. Dr. Azauri Albano de Oliveira Júnior - (SEL/EESC/USP)

Prof. Assistente Carlos Goldenberg - (SEL/EESC/USP)

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Prof. Associado Homero Schiabel

DEDICATÓRIAS

Dedico este trabalho a Francisco, Cristina, Péricles e Vitor. (Aurélio C. Mizani)

Este trabalho é dedicado aos amigos e familiares que compuseram minha vida e minha história acadêmica. Dentre estes, uma atenção especial à minha mãe, que sempre me deu suporte em cada etapa de minha vida, e se este trabalho é uma conquista, devo isso a ela. (Lucas C. E. de Souza)

AGRADECIMENTOS

Ao professor doutor Azauri Albano de Oliveira Júnior por ceder o espaço e estrutura do LACEP – Laboratório de Controle e Eletrônica de Potência, fundamental para o desenvolvimento de nossa pesquisa.

Aos nossos amigos e familiares pelo apoio concedido.

Ao professor doutor Dennis Brandão, orientador desse trabalho, pelo ensinamento, companheirismo e atenção.

RESUMO

Neste trabalho é proposto um projeto para economia de energia elétrica residencial utilizando um sistema de automação, que consiste em controle da potência elétrica fornecida ao chuveiro, a fim de reduzir seu consumo. São apresentadas duas alternativas: Controle PID feito por CLP e o mesmo sistema unido a um aquecedor solar; fazendo-se um comparativo entre ambos e apresentando os diagramas de ligação e linguagem LADDER. O trabalho apresenta a situação do chuveiro dentro do cenário elétrico residencial nacional mostrando o dever de estudar medidas de redução de consumo desse equipamento, assim como propõe uma medida de fazê-lo, mostrando os métodos, fundamentos, simulações com *software*, experimentação, discussão dos resultados e projeção de economia.

Palavras-chave: Controlador Lógico Programável, Controle PID, Automação Residencial, Consumo Residencial de Energia Elétrica, Eficiência Energética, Chuveiro

ABSTRACT

This paper proposes a project for residential electricity savings using an automation system, which consists of controlling the electrical power of a shower; in order to reduce their consumption. Two alternatives were submitted: PID control made by PLC and the same implementation attached to a solar heater. A comparison between them, connection diagrams and language LADDER are also presented. The paper demonstrates the shower scenario in national residential demand of electricity and the necessity to reduce consumption of this equipment, as well as proposing a measure to do so, showing methods, fundamentals, software simulations, experiments, discussion of results and expected savings.

Key words: *ResidentialAutomation, Programmable Logic Controller, PID Control, Residential Consumption of Electricity, Energy Efficiency, Shower*

SUMÁRIO

DEDICATÓRIAS.....	7
AGRADECIMENTOS	9
RESUMO	11
ABSTRACT	13
SUMÁRIO.....	15
LISTA DE FIGURAS.....	17
LISTA DE TABELAS.....	18
LISTA DE GRÁFICOS	19
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	20
1. INTRODUÇÃO	23
1.1. Proposta de projeto.....	25
1.2. Disciplinas	25
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	27
2.1. Sistemas térmicos	27
2.1.1. Capacitância térmica	27
2.1.2. Resistência térmica.....	27
2.1.3. Sistema térmico de aquecimento.....	27
2.2. Chuveiro elétrico	30
2.3. Controle PID.....	31
2.4. PWM	32
2.5. Controlador Lógico Programável (CLP).....	33

2.5.1.	Programação do CLP	34
3.	PROCEDIMENTOS PRÁTICOS.....	37
3.1.	SIMULAÇÕES.....	37
3.2.	Primeira coleta de dados.....	40
3.3.	Estrutura do Laboratório	41
3.4.	Segunda coleta de dados.....	43
3.5.	Terceira coleta de dados	43
4.	RESULTADOS.....	45
4.1.	Resultados relativos ao primeiro experimento.....	45
4.2.	Resultados relativos ao segundo experimento.....	46
4.3.	Resultados relativos ao terceiro experimento.....	50
5.	DISCUSSÕES	55
6.	CONCLUSÕES	57
7.	BIBLIOGRAFIA	59
8.	ANEXO I.....	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquemático básico de um sistema de aquecimento elétrico.....	28
Figura 2 – Diagrama de blocos do sistema mostrado na figura 1.....	29
Figura 3 – Esquemático do chuveiro elétrico comum.....	30
Figura 4 – Diagrama elétrico do chuveiro comum.....	30
Figura 5 - Diagrama de blocos do controle PID.....	32
Figura 6 - Ilustração de diferentes larguras de pulsos.....	33
Figura 7 – Tela de simulação do <i>software</i> Excel.....	38
Figura 8 – Fluxograma da lógica de programa.....	39
Figura 9 - Bloco PID na programação <i>LADDER</i>	39
Figura 10 - Parâmetros PID no <i>software</i> TIA Automation.....	40
Figura 11 - Circuito do sistema de acionamento e controle.....	42
Figura 12 - Placa do sistema de acionamento e controle.....	42
Figura 13 - Estrutura laboratorial para coleta de dados.....	42
Figura 14 – Inserção de dados e respostas.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custo por banho de 8 minutos [CIRRA (2009)]	31
Tabela 2 - Dados coletados em apartamentos.....	45
Tabela 3 – Dados coletados com um chuveiro comum na posição “inverno”	46
Tabela 4 - Dados coletados com um chuveiro comum na posição “verão”	46
Tabela 5 – Resultados PWM 28 °C.....	50
Tabela 6 – Resultados PWM 32 °C.....	50
Tabela 7 – Resultados PWM 35 °C.....	51
Tabela 8 – Resultados PWM 40 °C.....	51
Tabela 9 – Comparativo entre as potências.....	55

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Consumo residencial brasileiro de energia elétrica de 1975 a 2013 (em tonelada equivalente de petróleo)[EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, (2013)]	23
Gráfico 2 - Participação dos principais equipamentos elétricos no consumo de uma residência brasileira. (PROCEL/ELETROBRÁS)	24
Gráfico 3: Curva de carga diária nacional (PROCEL)	24
Gráfico 4 - Potência x temperatura de um chuveiro comum.....	48
Gráfico 5 – Temperatura x vazão (Chuveiro comum).....	49
Gráfico 6 – Simulação da formula fundamental da calorimetria	49
Gráfico 7 – Temperatura x vazão (Sistema PWM).....	52
Gráfico 8 – Potência x vazão (Sistema PWM).....	53

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

Amplif. – Amplificador

BEN – Balanço Energético Nacional

BTA40 – 40ATriacs

C – Capacidade Térmica

°C – Graus Celsius

CIRRA - Centro Internacional de Referência em Reuso de Água

CLP – Controlador Lógico Programável

CPFL – Companhia Paulista de Força e Luz

DC – *DirectCurrent*

dT – Variação da Temperatura

E_{calc} – Energia Calculada

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

GWh – Gigawatt-hora

kW – Kilowatt

kWh – Kilowatt-hora

l/min – litros por minuto

m – Massa

min – Minuto

MME – Ministério de Minas e Energia

MOC 3020 – 6 – *Pin DIP Random-Phase Optoisolators Triac Driver Output*

P. – Potência

PID – Proporcional Derivativo Integral

PLC - *Programmable Logic Controller*

Pot. – Potência

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PVC – Policloroetano

PWM – Pulse-Width Modulation

Q – Calor

Q_{calc} – Calor Calculado

Q_{real} – Calor Real

R\$ – Reais

T – Temperatura

T_{amb} – Temperatura Ambiente

tep – Tonelada Equivalente de Petróleo

T_{max} – Temperatura máxima

toe – *Tonne of Oil Equivalent*

Triac – *Triode for Alternating Current*

TV – Televisão

V – Volts

VBA – *Visual Basic for Applications*

Vz. – Vazão

W – Watt

W/m² - Watt por Metro Quadrado

Wh/h – Watt-hora por hora

1. INTRODUÇÃO

O processo de estabilização econômica brasileira iniciada pós-ditadura e firmada com o Plano Real, permitiu a inserção do país no mercado financeiro internacional e afetou o comportamento do consumidor e a sua demanda de energia elétrica. Esta, por ser um bem de consumo, também obedece às leis da oferta e da procura e o povo brasileiro, dispondo de mais renda, adquire mais equipamentos elétricos e, conseqüentemente, consome mais energia elétrica [FALCO, (2003)].

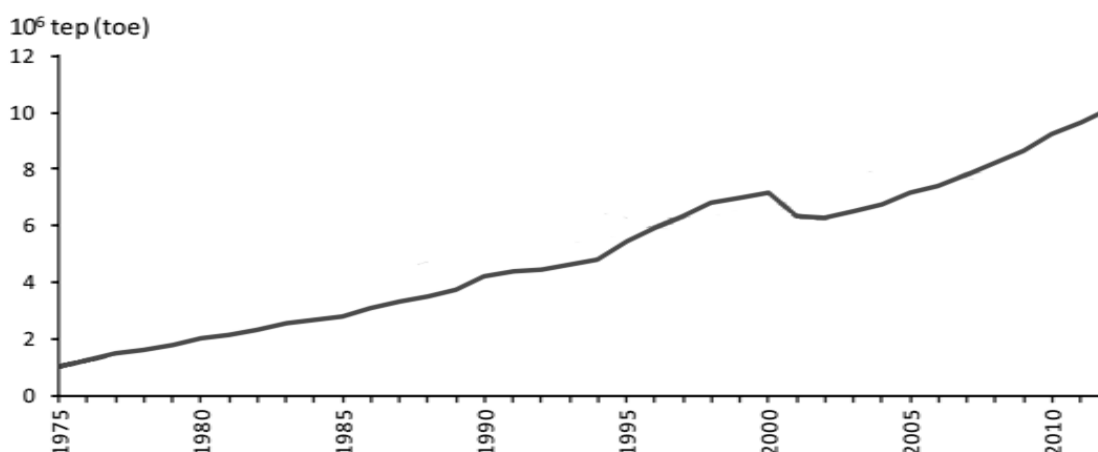


Gráfico 1 - Consumo residencial brasileiro de energia elétrica de 1975 a 2013 (em tonelada equivalente de petróleo)[EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, (2013)]

A figura 1 mostra o crescimento do consumo residencial de energia elétrica desde 1975. Segundo [EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, (2013)] o consumo total nacional foi, em 2012, 498.398 GWh de energia elétrica. Temos que o chuveiro elétrico foi responsável por consumir 3,86% do total nacional.

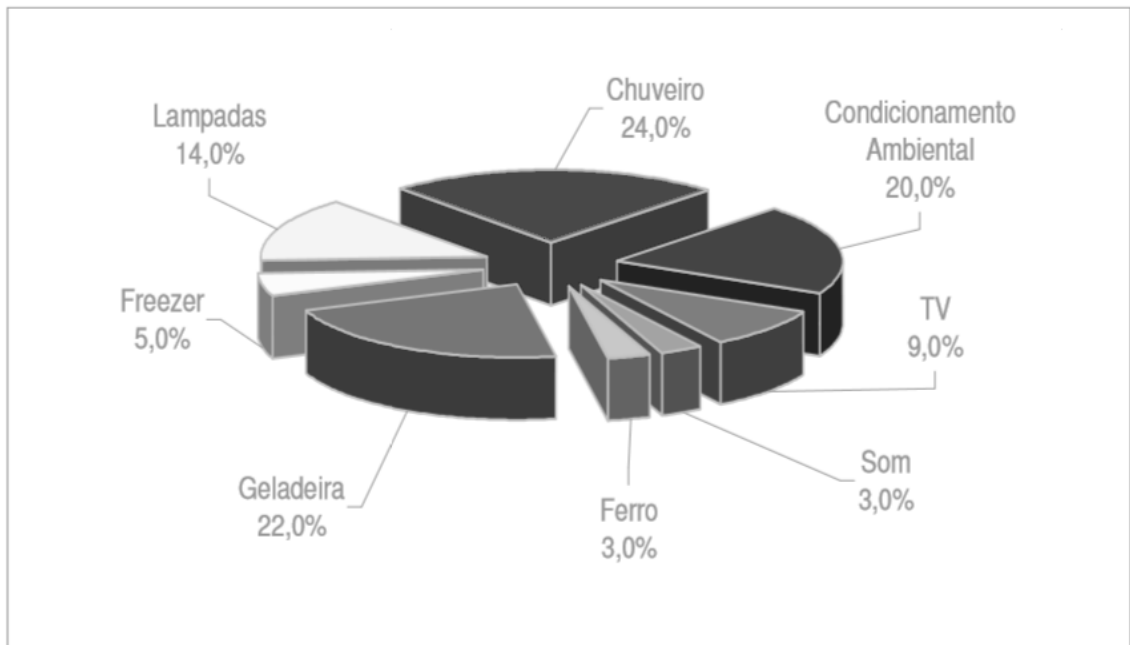


Gráfico 2 - Participação dos principais equipamentos elétricos no consumo de uma residência brasileira. (PROCEL/ELETROBRÁS)

O gráfico 2 faz um comparativo entre os principais aparelhos elétricos do consumidor brasileiro. Nele nota-se que os três maiores consumidores são: Chuveiro, Geladeira e Ar Condicionado. Mesmo o chuveiro funcionando bem menos tempo que os outros dois anteriores (O tempo médio de um banho no Brasil é de 8 minutos, segundo [CIRRA, (2009)]), o gráfico mostra que ele ainda é grande consumidor de energia elétrica do lar brasileiro.

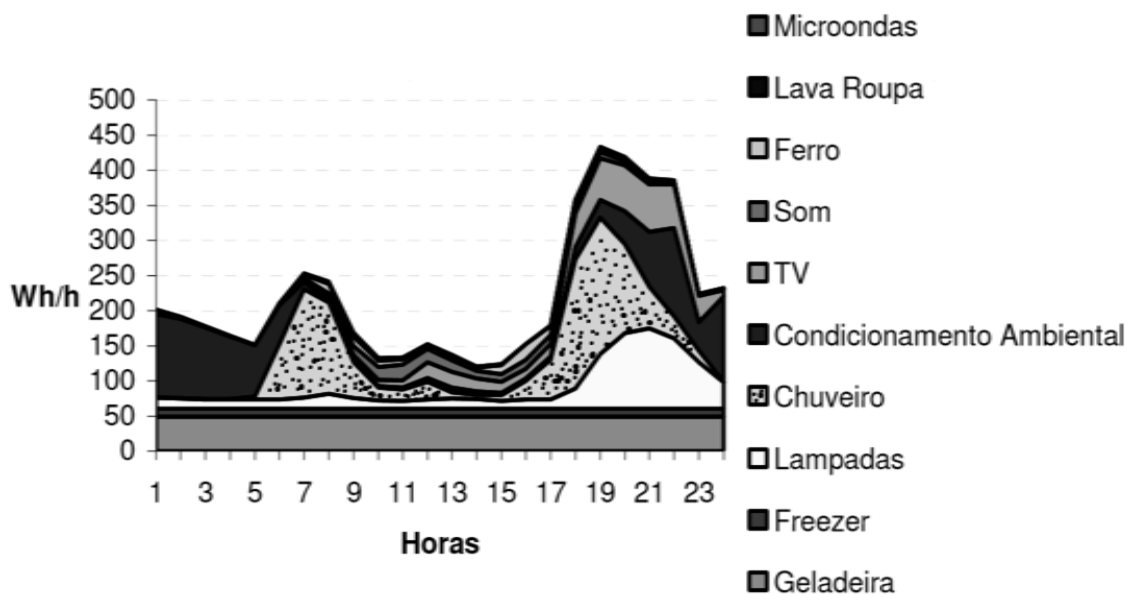


Gráfico 3: Curva de carga diária nacional (PROCEL)

A curva de carga, apresentada no gráfico 3, representa, nacionalmente, um consumidor hipotético, cujo significado reflete o consumo diário de energia elétrica de tal consumidor, considerando as frações dos equipamentos possuídos e hábitos de uso, distribuídos ao longo de um dia típico. O gráfico mostra o impacto do chuveiro no sistema energético, principalmente no horário de ponta, que compreende o horário das 6 às 8 horas e das 18 às 20 horas, evidenciando a necessidade de se estudar medidas para redução de consumo deste equipamento.

1.1. Proposta de projeto

O chuveiro de três posições (desligado, verão e inverno), doravante chamado de chuveiro comum, porque é o mais utilizado no Brasil, opera com resistência fixa para cada posição, tensão pouco variável e, conseqüentemente opera em uma potência fixa em cada posição.

Este trabalho propõe uma forma de controlar a potência do chuveiro através de um controle PID e obter a redução no consumo. Dessa forma, o usuário escolhe a temperatura e o controle fornece a mínima potência necessária para que o chuveiro possa atingir essa temperatura, verificando aí a redução anteriormente inexistente.

Além disso, uma placa de aquecimento solar auxilia o processo elevando em alguns graus a temperatura da água enviada para o chuveiro para auxiliar na diminuição da potência necessária para atingir a temperatura do banho, uma vez que a diferença entre a temperatura da caixa d'água e a do banho é menor. Por exemplo, um usuário deseja tomar banho a 35 °C. Estando a temperatura na caixa d'água a 25 °C, o chuveiro deverá promover o aquecimento até os 35 °C, sendo 10 °C de aumento. Se a placa solar conseguir aquecer a temperatura da caixa d'água de tal forma que chegue ao chuveiro em 30 °C, este só precisará aquecer 5 °C.

1.2. Disciplinas

Para o desenvolvimento do projeto foi necessário conhecimento em:

- Automação
- Laboratório de Automação
- Laboratório de Controle de Processos Industriais
- Eletrônica de Potência
- Fundamentos de Controle

- Controle de Sistemas Lineares
- Termodinâmica
- Fenômenos de Transporte
- Transdutores

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Sistemas térmicos

Sistemas térmicos são sistemas onde se encontra armazenamento e fluxo de calor sob radiação, convecção e condução. São exemplos clássicos de sistemas térmicos: O sistema de arrefecimento de um motor, geladeiras, sistema de condicionamento de ar e chuveiro, estudado por esse trabalho. Sistemas térmicos também podem ser analisados pela sua capacitância e resistência térmica.

2.1.1. Capacitância térmica

É definida como o produto do calor específico pela massa do material.

$$C = mH, \left[\frac{\text{kJ}}{^{\circ}\text{C}} \right] \quad (2.1)$$

Onde m é a massa do corpo (kg), e H é o calor específico (kJ/kg °C)

2.1.2. Resistência térmica

É definida como uma resistência a mudança de temperatura para uma variação de uma unidade de fluxo de calor.

$$R = \frac{\Delta\theta[^{\circ}\text{C}]}{\Delta q\left[\frac{\text{kJ}}{\text{s}}\right]} \quad (2.2)$$

2.1.3. Sistema térmico de aquecimento

Num sistema de aquecimento, como ilustrado na figura 1 uma resistência transfere um fluxo de calor q . A água entra a uma temperatura θ_i e sofre uma variação de temperatura θ_o ao longo do processo. O sistema térmico possui uma resistência térmica e uma capacitância e quantidade de calor fornecida pela fonte tem como oposição a capacitância térmica e a resistência térmica.

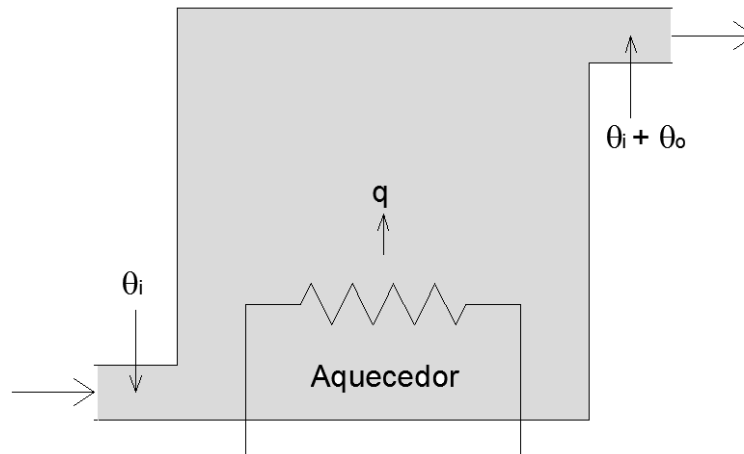


Figura 1 – Esquemático básico de um sistema de aquecimento elétrico.

Segundo [SHINNERS, (1992)] o modelo pode ser expresso como:

$$q(t) = q_c(t) + q_o(t) - q_i(t) + q_p(t), \quad (2.3)$$

Onde

$q(t)$ = fluxo de calor fornecido pelo elemento aquecedor

$q_c(t)$ = fluxo de calor armazenado na água do tanque

$q_o(t)$ = fluxo de calor perdido pela água quente deixando o tanque

$q_i(t)$ = fluxo de calor carregado pela água fria entrando

$q_p(t)$ = fluxo de calor perdido através das paredes do sistema

Cujos valores são calculados por:

$$q_c(t) = C \frac{d\theta_f(t)}{dt} \quad (2.4)$$

$$\theta_f(t) = \theta_i(t) + \theta_o(t) \quad (2.5)$$

$$q_o(t) = V(t)H\theta_f(t) \quad (2.6)$$

$$q_i(t) = V(t)H\theta_i(t) \quad (2.7)$$

$$q_p(t) = \frac{\theta_f(t) - \theta_{amb}(t)}{R} \quad (2.8)$$

Onde

C = capacidade térmica da água no tanque

$\Theta_i(t)$ = temperatura da água saindo do sistema

$V(t)$ = vazão da água do sistema

H = calor específico da água

$\Theta_i(t)$ = temperatura da água entrando no sistema, conforme descrito no primeiro parágrafo da seção 2.1.3.

$\Theta_{amb}(t)$ = temperatura do ambiente em volta do sistema

R = resistência térmica da parede do sistema

Substituindo-se as equações 2.4 a 2.8 em 2.3 tem-se:

$$q(t) = C \frac{d\theta_f(t)}{dt} + V(t)H(\theta_f(t) - \theta_i(t)) + \frac{\theta_f(t) - \theta_{amb}(t)}{R} \quad (2.9)$$

Para a vazão V constante e $\Theta_{amb} = \Theta_i$, situações convenientes para nossa aplicação, a equação 2.9 se reduz para:

$$q(t) = C \frac{d\theta_o(t)}{dt} + (VH + \frac{1}{R})\theta_o(t) \quad (2.10)$$

Para obter a função de transferência usa-se a Transformada de Laplace em 2.10 e obtém-se:

$$Q(s) = \theta_o(s)(Cs + VH + \frac{1}{R}) \quad (2.11)$$

Finalmente, a função de transferência é dada por

$$\frac{\theta_o(s)}{Q(s)} = \frac{1}{(Cs + VH + 1/R)} \quad (2.12)$$

e o seu diagrama de blocos é apresentado na figura 2 abaixo [SHINNERS, (1992)].

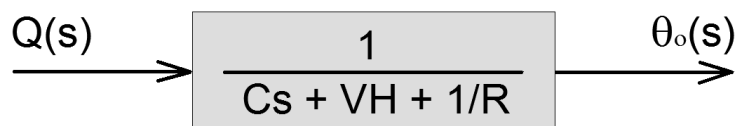


Figura 2 – Diagrama de blocos do sistema mostrado na figura 1.

2.2. Chuveiro elétrico

O chuveiro elétrico é um caso particular dos sistemas térmicos de aquecimento estudados no item 2.1. A água entra e passa por um elemento resistivo de aquecimento que é acionado conforme a passagem da água gera uma pressão sobre o diafragma, fazendo-o levantar e encostarem-se aos contatos elétricos superiores, como mostra a figura abaixo:

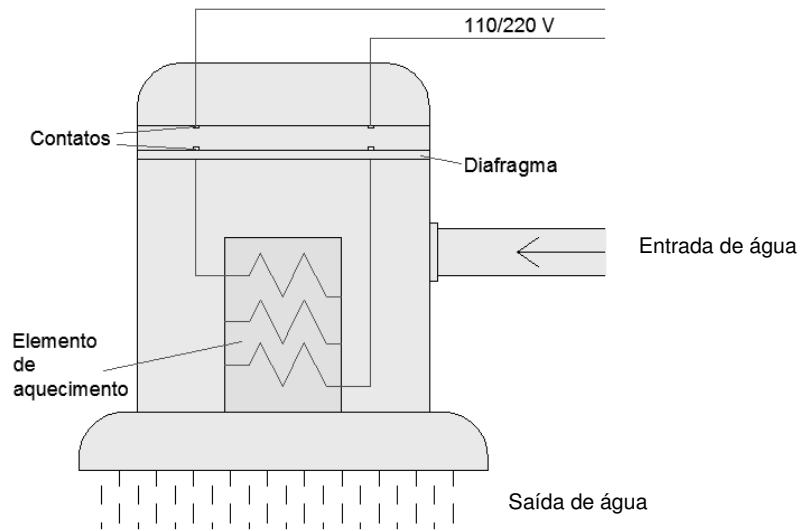


Figura 3 – Esquemático do chuveiro elétrico comum

A chave “inverno” e “verão”, presentes no chuveiro comum, seleciona duas posições do elemento resistivo de aquecimento, de modo que circule mais ou menos corrente, conforme indicado no diagrama abaixo:

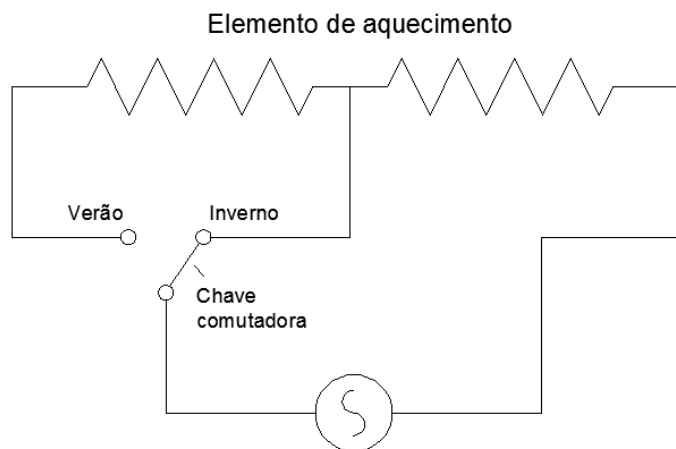


Figura 4 – Diagrama elétrico do chuveiro comum

Além do chuveiro elétrico existem outras formas de se aquecer a água para o banho. Dentre as mais comuns podemos citar: Aquecimento solar, a gás, híbrido (chuveiro elétrico junto com aquecimento solar) e aquecimento central.

Segundo [CIRRA, (2009)], foi tomado como modelo mais econômico, o sistema Híbrido, pois os custos com implantação e manutenção quando se tem em conjunto o chuveiro e a placa de aquecimento solar, são baixos comparados aos outros sistemas que se dizem mais sofisticados.

Uma simples tabela mostra a relação de custo por energia do sistema citado:

Custo por banho de 8 minutos (água, energia elétrica e gás)	
Sistema de Aquecimento de água	Custo por banho de 8 minutos (R\$)
Chuveiro Elétrico (média dos dois pontos)	0,22
Solar	0,35
Gás	0,58
Híbrido (solar + chuveiro elétrico)	0,22
Boiler	0,78

fonte: CIRRA

Tabela 1– Custo por banho de 8 minutos [CIRRA (2009)]

2.3. Controle PID

Os controladores PID são controladores com realimentação largamente utilizados em automação. Esses controladores calculam o erro entre o valor medido na saída e o valor desejado no processo. Dessa forma, o controlador tenta diminuir o erro que foi gerado pela saída, ajustando suas entradas. O calculo do controlador PID envolve três parâmetros: Proporcional, Integral e Derivativo; e sua equação pode ser expressa por:

$$u(t) = MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2.13)$$

Onde

u(t) é a saída em relação ao tempo;

e(t) é a entrada menos o erro em relação ao tempo;

K_p é a constante proporcional;

K_i é a constante integral e

K_d é a constante derivativa.

No controle PID, os parâmetros P, I e D, atuam complementando-se, mas de maneira diferente: O parâmetro Proporcional considera somente o erro presente. O Integral é um acúmulo de erros passados e o Derivativo prevê erros futuros. Dessa forma o controle faz com que o sinal de erro seja minimizado pela ação proporcional, zerado pela ação integral e obtido com uma velocidade antecipada pela ação derivativa.

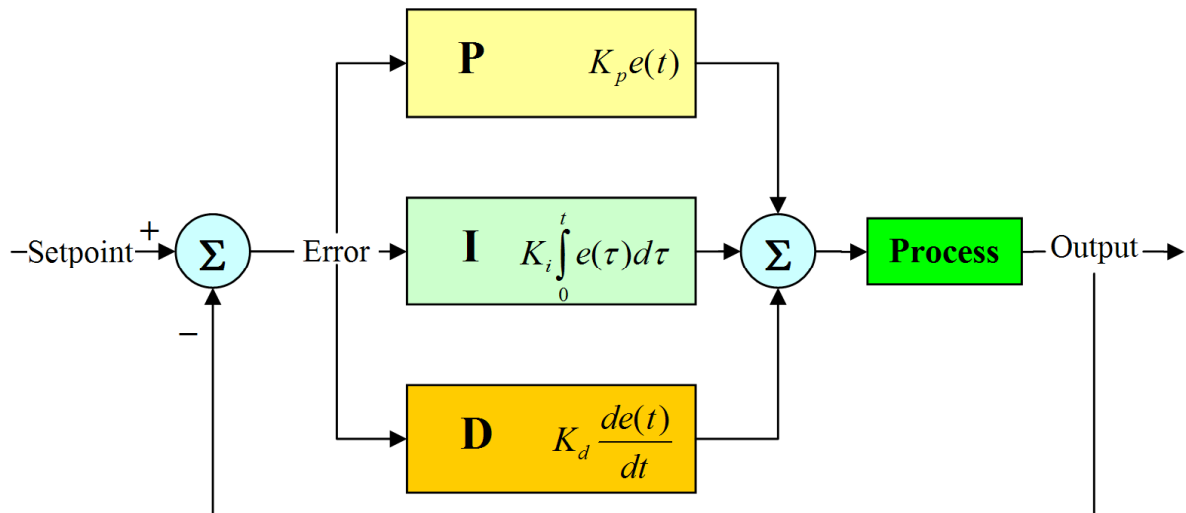


Figura 5 - Diagrama de blocos do controle PID

2.4. PWM

O sistema PWM (Pulse Width Modulation ou Modulação de Largura de Pulso) é uma técnica de controle de circuitos analógicos com a saída digital de um microprocessador. PWM é largamente utilizado no âmbito da engenharia elétrica. Na parte de luminosidade de LED's, controle de velocidade desde motor de passos até máquinas elétricas. No caso do trabalho em questão, este foi utilizado para regulagem da potência.

Basicamente, o sistema PWM consiste em deixar a saída em estado 'ON' durante uma porcentagem do seu ciclo de operação, e deixar a saída em estado 'OFF' durante o restante do ciclo. Esta porcentagem pode ser calculada e implantada de diversas maneiras, dependendo do que se está sendo controlado. Para o experimento realizado, foi utilizado a saída de um CLP, que aciona, por sua vez, um circuito de chaveamento.

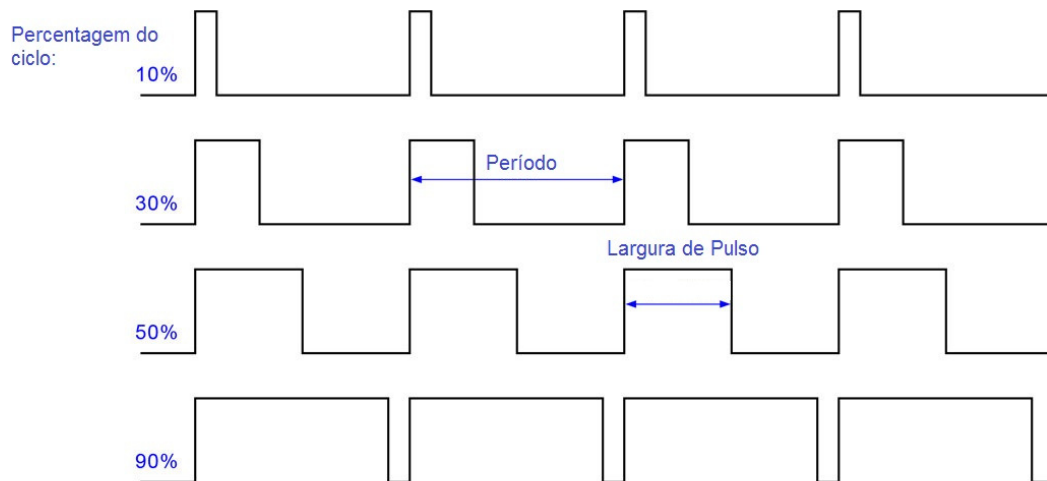


Figura 6 - Ilustração de diferentes larguras de pulsos

A figura acima ilustra a saída de um sistema PWM operando a 10%, 30%, 50% e 90%, em que:

$$P = \frac{L \times 100}{T} \quad (2.14)$$

P – Porcentagem PWM

L – Largura de Pulso

T – Período

A água possui um calor específico de 4,18 kJ/kg°C. Isso implica que para que se varie a temperatura de 1 kg de água em 1 grau Celsius, é necessário a retirada ou o fornecimento de 1kJ de energia a esta massa. Esta energia é relativamente grande, se considerarmos os meios de troca de calor que a água dentro da caixa d'água do chuveiro está sujeito (convecção, condução e radiação). Em outras palavras, a 'Inércia Térmica' do chuveiro é grande, o que implica que o ciclo do chuveiro pode, também, ser grande.

Nos resultados mostra-se que o valor utilizado para a largura do ciclo é de 1 segundo. Considerando que a fonte utilizada para o funcionamento do chuveiro foi a residencial comum brasileira (60 Hz de Frequência), um ciclo de 100% passa 60 ciclos de onda.

2.5. Controlador Lógico Programável (CLP)

Um Controlador Lógico Programável (CLP) é um computador especializado, baseado em um microprocessador que desempenha funções através de programas implementados

pelo usuário com diversos tipos e níveis de complexidade. Segundo [PUPO (2002)], os CLPs são úteis em qualquer processo de abertura e fechamento de relés, além da capacidade de processamento de sinais analógicos, que tornou possível sua utilização em aplicações nas indústrias diversas.

Controlador Lógico Programável segundo a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) é um equipamento eletrônico digital com hardware e *software* compatíveis com aplicações industriais. Segundo a NEMA (National Electrical Manufacturers Association), é um aparelho eletrônico digital que utiliza uma memória programável para armazenar internamente instruções e para programar funções específicas, tais como lógica, seqüenciamento, temporização, contagem e aritmética, controlando, por meio de módulos de entradas e saídas, vários tipos de máquinas ou processos.

É formado basicamente por: Fonte de alimentação, Processador e Dispositivo de entradas e saídas [CORETTI (1998)].

Os CLPs têm capacidade de comunicação de dados por canais seriais. Assim, podem ser supervisionados por computadores através de *softwares* de supervisão, formando sistemas de controle integrados. Além disso, esses canais permitem a interação com o usuário através do IHM (Interface Homem Máquina) e com outros dispositivos e computadores, mesmo remotos.

Cada fabricante estabelece um protocolo para que seus equipamentos troquem informações entre si. Os protocolos mais utilizados são:

- Profibus (Siemens),
- Modbus (Modicon - Schneider Electric),
- EtherCAT (Beckhoff),
- Unitelway (Telemecanique - Schneider Electric),
- DeviceNet (Allen Bradley), etc.

2.5.1. Programação do CLP

Segundo [WARNOCK (1997)] a programação do CLP é dividida em 3 categorias:

- Linguagens de programação de baixo e alto nível, como Assembly, C ou Pascal.
- Ferramentas baseadas em diagramas elétricos como *Ladder*.
- Ferramentas gráficas baseadas na evolução de estado do sistema.

Para a programação do CLP desse trabalho utilizou-se o auxílio gráfico chamado de linguagem *ladder*, diagrama *ladder* ou diagrama de escada. Nesse diagrama as funções lógicas são representadas através de contatos e bobinas, análogo a um esquema elétrico com contatos, transdutores e atuadores. Além do *ladder*, na mesma categoria, utilizam-se outras linguagens como: SFC (Sequential Function Chart) e ST (Structuredtext)

O nome (*ladder*, escada em inglês) provém do fato que a disposição dos contatos e bobinas é realizada, de maneira geral, na horizontal, que lembra o formato de uma escada.

Existem três tipos de elementos na linguagem *ladder*:

- Entradas (ou contatos): Podem ler o valor de uma variável booleana;
- Saídas (ou bobinas): Podem escrever o valor de uma variável booleana;
- Blocos funcionais: Permitem realizar funções avançadas.

3. PROCEDIMENTOS PRÁTICOS

3.1. SIMULAÇÕES

Considerando o embasamento teórico descrito no capítulo 2 foi possível simular os resultados requeridos. Uma vez que a simulação demonstrou ser possível uma boa redução do custo energético, foi implementado, em seguida, o experimento em laboratório.

A simulação computacional foi desenvolvida em EXCEL, utilizando-se de programação em VBA, além de conceitos de conversão de energia elétrica para energia térmica.

Basicamente, a simulação consiste em colocar como entrada os valores de potência que a placa solar consegue fornecer para um reservatório, a dimensão populacional do prédio e a temperatura ambiente. Além disso, devem-se inserir as variáveis relativas ao banho do usuário (vazão e temperatura).

Como complemento, o *software* simula o custo energético em uma escala predial, em que se deve ser inserido a quantidade de andares, apartamentos, quantas pessoas moram e ainda o tempo médio de banho. Sendo assim, ele calcula a quantidade de água que o prédio estipulado consome.

Considera-se que a placa solar consegue fornecer 200 W/m^2 [LOSTER, (2013)]. Este valor é o respectivo à potência média que o sol injeta na terra na região central do Brasil. Entretanto, esse valor é facilmente alterado, caso as circunstâncias exijam uma média maior ou menor, de acordo com o rendimento da placa solar ou da incidência solar na Terra. Apesar de haver variações, a inclusão de diferentes valores para essa densidade de potência não altera os resultados do projeto, já que, para que se tenha a mesma quantidade de energia requerida, basta que se coloque uma maior área de placa solar.

Como resultado, o *software* mostra qual está sendo a economia energética em escala predial. O valor da economia é dada em reais, com base de cálculo de R\$ 0,46 por kWh. Esse valor foi apenas uma estimativa simples para que se pudesse ter uma noção de quão grande pode ser o custo com implantação, para que o sistema retorne o investimento aplicado.

Entretanto, com um simulador da web, foram calculados os preços que seriam relativos a: CPFL; Consumidor de Baixa Tensão e Tarifa B1-Residencial. Os resultados foram bem próximos, o que dá fidelidade aos cálculos.

É possível variar, como forma de entrada, a vazão e, uma vez que se aumenta a vazão, a temperatura diminui, e vice-versa. O *software* desenvolvido já fornece qual temperatura que o chuveiro com potência real de 4,5 kW consegue fornecer. Assim, foi

simulado que, para que um usuário do chuveiro que queira tomar um banho a 38 °C, ele teria de colocar uma vazão de 4,8 l/min.

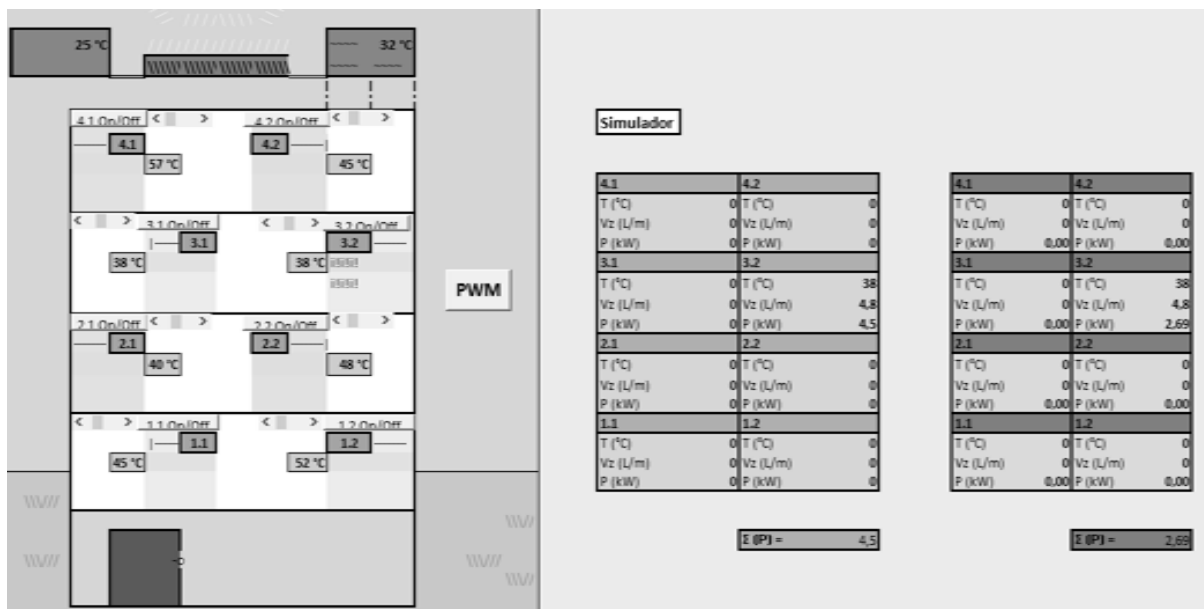


Figura 7 – Tela de simulação do *software* Excel

O CLP da Siemens que foi utilizado no projeto tem um *software* próprio que serve para programá-lo: O TIA Automation.

Neste *software*, é possível programar em *LADDER*, que é uma linguagem de programação muito utilizada no campo da Automação, uma vez que é relativamente mais fácil do que as linguagens usuais, como C, C++, Java etc. Isso se deve ao fato de que a linguagem *LADDER* é mais visual.

Além disso, o *software* TIA fornece a possibilidade de se trabalhar com bloco PID que gera uma saída em forma de pulsos, tendo sua largura modificada pelo próprio controle PID do CLP, que foi de suma importância para o projeto como um todo.

A programação é escrita no computador e depois enviada ao CLP. Ao se inserir o código no hardware, é possível ter uma visualização em tempo real do que se está acontecendo no CLP. Com isso, foi possível construir o código necessário para executar as seguintes funções:

Se o usuário aperta um botão com retorno por mola, este alterna a saída do CLP para pulsos com largura de 50% para pulsos com largura de 100%. Caso o botão seja apertado novamente, ele retorna a saída para 50%, e assim por diante.

No caso de o usuário segurar o botão por 3 segundos, o sistema entende que a temperatura coletada é a que deve ser posta como *setpoint*, e se inicia a atuação do bloco de controle PID.

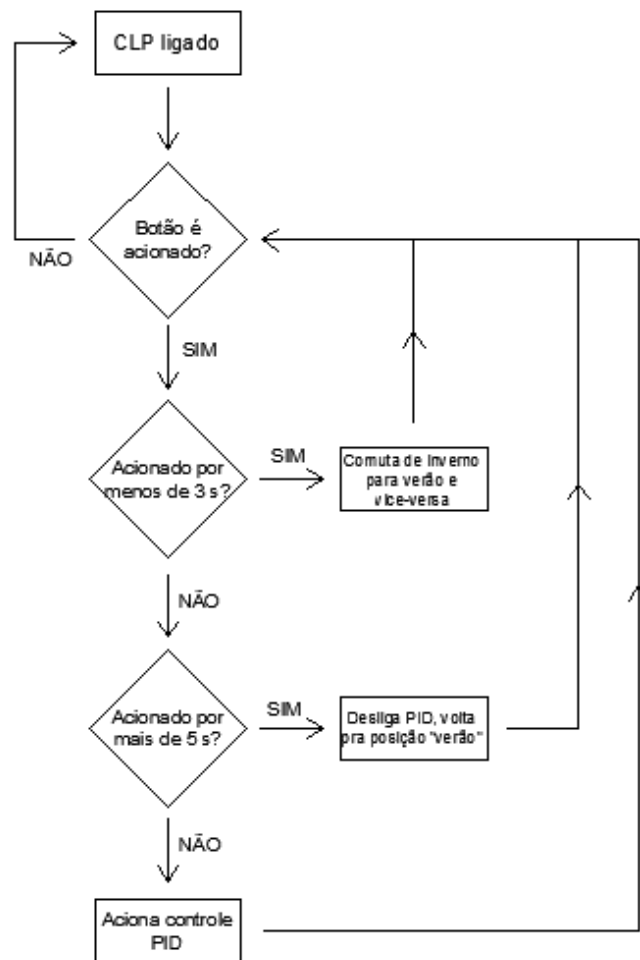


Figura 8 – Fluxograma da lógica de programa

O bloco PID é mostrado a seguir, respectivo a suas configurações de parâmetros:

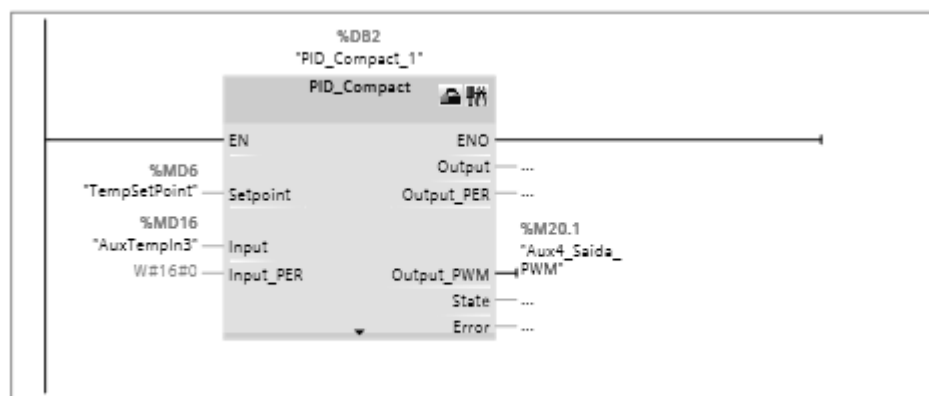


Figura 9 - Bloco PID na programação LADDER

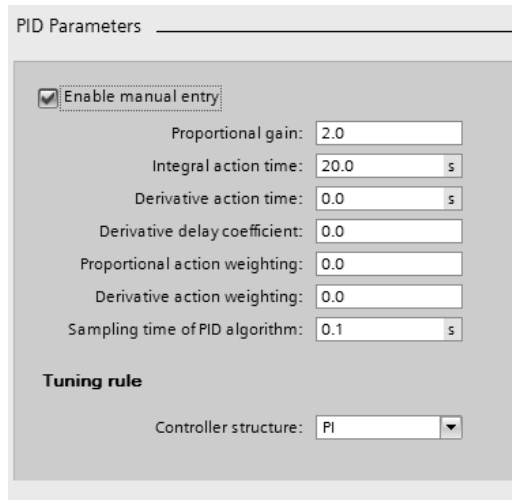


Figura 10 - Parâmetros PID no *software* TIA Automation

Além disso, foi feito também um amortecimento da temperatura. Este foi feito utilizando-se de média dinâmica, que se baseia nos dados acumulados anteriormente. O motivo de se utilizar esta média dinâmica é a grande instabilidade da recepção dos dados de temperatura.

A programação completa é mostrada no Anexo 1.

3.2. Primeira coleta de dados

Para que tivéssemos uma noção da real situação dos chuveiros residenciais, foi feito um experimento *in loco* em um prédio da cidade de São Carlos. Para isso, foi necessária a utilização de:

- Voltímetro
- Amperímetro alicate
- Balde graduado para medição do volume
- Termômetro com termopar
- Cronômetro

A realização da coleta de dados seguiu o procedimento a diante:

- 1) Deixa-se um recipiente com água na sombra, fora do prédio.
- 2) Mede-se a temperatura da água da caixa (do chuveiro), com o chuveiro desligado.
- 3) Anota-se as informações do chuveiro: Potência, marca, estado de conservação, opções de temperatura, tecnologias, etc.

- 4) Liga-se o chuveiro de acordo com a preferência do dono.
- 5) Aguarda-se 10 segundos para estabilizar a temperatura e demais parâmetros.
- 6) Mede-se a vazão, cronometrando o tempo necessário para encher um determinado volume, no balde.
- 7) Mede-se a tensão.
- 8) Coloca-se um recipiente na altura do ombro de uma pessoa de tamanho normal.
- 9) Deixa-se cair água nele durante 30 segundos.
- 10) Mede-se a temperatura e a corrente durante 1 minuto, fazendo anotações de 15 em 15 segundos.
- 11) Deixa-se na vazão mínima e na opção mais quente, obtendo T_{max} .
- 12) Mede-se a temperatura da água do item 1, obtendo-se a temperatura ambiente.

3.3. Estrutura do Laboratório

Para realizarmos as coletas de dados, descritas nos itens 3.4 e 3.5, dispôs-se desses equipamentos:

- Um chuveiro 220 V – 5500 W - Três Posições Inverno/Verão/Desligado (Dados fornecidos pelo fabricante);

- Um sistema de acionamento de potência produzido pelos autores do projeto, consistindo de circuitos integrados como o opto acoplador MOC 3020 e o triac BTA40, cujo diagrama elétrico se encontra na figura 9;

- CLP Siemens S7-1200;

- Amplificador de sinal de Termopar e Termopar;

- Fontes DC;

- Termômetros Digitais,

- Multímetros

- Osciloscópio

- Computador

A representação do circuito de acionamento está esquematizada na figura abaixo:

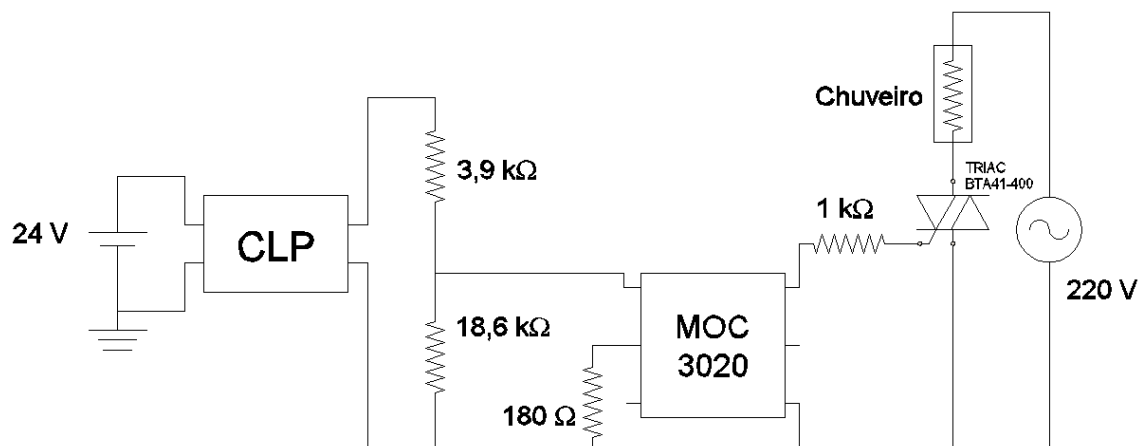


Figura 11 - Circuito do sistema de acionamento e controle

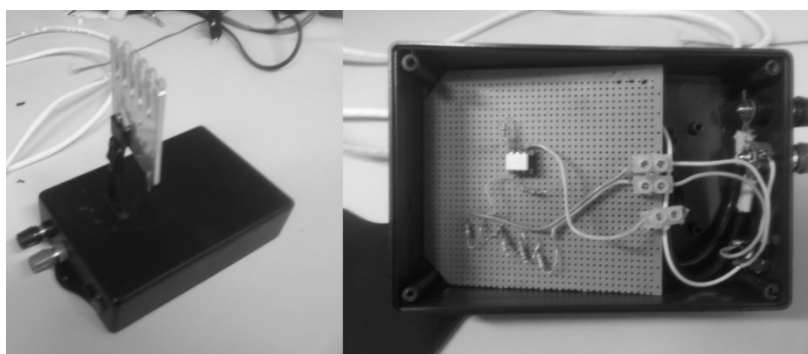


Figura 12 - Placa do sistema de acionamento e controle



Figura 13 - Estrutura laboratorial para coleta de dados

3.4. Segunda coleta de dados

Primeiramente, foram coletados 112 dados, dispostos nas tabelas 2 e 3, em dias diferentes (Temperatura ambiente diferentes) de um chuveiro conectado apenas na fonte de 220V, alternando apenas as posições Inverno/Verão do chuveiro. Variando a vazão por meio das válvulas, medimos Tensão, Corrente, Temperatura e Vazão (l/min).

Com os valores coletados foram feitos dois gráficos. Um, retrata simplesmente os valores coletados de Temperatura versus Vazão. Outro foi feito uma vez que se confirmou os valores esperados pela equação $Q = mCdT$, em que Q é a energia em Joules, m é a massa em questão e dT é a variação da Temperatura do Sistema. É interessante ressaltar que, apesar do chuveiro em si ser considerado um volume de controle, existem métodos em que podemos tratar este como um sistema, uma vez que a massa dentro de do recipiente do chuveiro não varia em regime permanente.

3.5. Terceira coleta de dados

A etapa mais importante do projeto consistiu em coletar os valores depois de o protótipo todo ter sido implantado. Foi construída uma simulação laboratorial de como o sistema PWM deve funcionar. Esta simulação constituiu-se em acoplar o chuveiro com o CLP, o Sistema de Acionamento e Corte e seus periféricos necessários. Com isso, foi possível medir a temperatura do chuveiro, enviar esta para o CLP, aferir os valores em tempo real pelo computador e pelo osciloscópio e, ainda, aferir os valores que o CLP está redirecionando ao sistema.

Instalado o sistema, coletaram-se dados para quatro diferentes temperaturas previamente determinadas (28°C, 32°C, 35°C e 40°C). Ao se inserir o *setpoint* desejado, variou-se a vazão e esperou-se a temperatura estabilizar.

Após a coleta de todos os dados, foram elaborados gráficos e, estes, por sua vez, foram analisados para que se obtivesse a conclusão do projeto.

4. RESULTADOS

4.1. Resultados relativos ao primeiro experimento

	Vazão	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	Tensão	Corrente	Pot. (W)	Q _{real} (kJ)	Q _{calc} (kJ)	η (%)
Ap. 1	4,7 l/m	26,6	38,0	115 V	37,3 A	4290	257,370	226,664	0,88
	2,6 l/m	30	42,8	115 V	22 A	2530	151,800	139,185	0,92
	1,9 l/m	23,3	54,0	115 V	37 A	4255	255,300	248,596	0,97
	5,0 l/m	23,3	37,2	115 V	37,2 A	4278	256,680	290,324	1,13
Ap. 2	3,3 l/m	25,2	39,0	113 V	37,2 A	4204	252,216	193,007	0,77
	9,7 l/m	25,2	31,6	113 V	37,3 A	4215	252,894	260,198	1,03
	4,0 l/m	25,2	30,0	113 V	16,4 A	1853	111,192	80,196	0,72
	2,2 l/m	25,2	51,5	113 V	37,8 A	4271	256,284	239,256	0,93
	4,6 l/m	25,2	38,9	113 V	37,8 A	4271	256,284	266,871	1,04
Ap. 3	4,0 l/m	23,5	39,0	117 V	36,9 A	4317	259,038	257,796	1,00
	2,9 l/m	23,5	44,3	117 V	36,9 A	4317	259,038	249,850	0,96
	5,6 l/m	23,5	34,3	117 V	36,8 A	4306	258,336	255,830	0,99

Tabela 2 - Dados coletados em apartamentos

Para a construção da tabela 2, visitamos 3 apartamentos (Ap.1, Ap.2 e Ap.3) em um condomínio residencial onde a tensão nominal de alimentação dos chuveiros é 127 V. Tomamos T₁ a temperatura da água com o chuveiro desligado, T₂ a temperatura da água após ligar o chuveiro e o usuário escolher a temperatura de sua preferência. Medimos a tensão e a corrente e obtemos a potência (Pot), multiplicando-se a tensão pela corrente correspondente, e, em seguida, a energia real (Q_{real} calculada como a energia gasta em 60 segundos), a energia calculada (Q_{calc}) e o rendimento (η) por:

$$Q_{real} = Pot. 60$$

$$Q_{calc} = Vazão. C. dT$$

$$\eta = \frac{Q_{calc}}{Q_{real}}. 100\%$$

É interessante relevar o fato de que, quando fizemos os testes nas residências, a tensão da casa caiu bastante quando se foi ligado o chuveiro. Isso normalmente se dá devido a má ou velha instalação elétrica. Essas variações chegam, em alguns casos, a ser mais que 10% do valor de tensão nominal (127V).

4.2. Resultados relativos ao segundo experimento

No caso de uma instalação mais adequada, como é a do prédio em que se foi realizado o experimento, é possível de se perceber uma variação de tensão bem mais suave.

Inverno											
Grandeza	T	m	t	V	C	Vz	dT	η	Q	Pot	E_{calc}
Unidade	°C	kg	s	V	A	l/min	°C	%	kJ	kW	kJ
Dia 1											
T_{amb} 24 °C	44,2	1,9	35	219	23,52	3,3	20,2	0,89	275,020	5,151	309,053
	39,4	2,0	26	215	23,19	4,1	15,4	0,99	297,102	4,986	299,151
	38,6	2,5	37	219	23,14	4,6	14,6	0,81	247,411	5,068	304,060
	34,9	2,9	30	215	23,16	5,8	10,9	0,88	264,260	4,979	298,764
	31,9	3,7	28	216	23,15	7,9	7,9	0,87	261,817	5,000	300,024
	29,7	4,5	25	214	23,03	10,8	5,7	0,87	257,321	4,928	295,705
Dia 2											
T_{amb} 20 °C	43,6	2,0	40	213	23,45	3,0	23,6	0,99	295,944	4,995	299,691
	40,5	1,2	20	214	23,42	3,6	20,5	1,03	308,484	5,012	300,713
	33,2	1,8	19	214	23,49	5,7	13,2	1,04	313,632	5,027	301,612
	31,6	2,1	20	214	23,46	6,3	11,6	1,01	305,474	5,020	301,226
	29,6	2,5	20	214	23,43	7,5	9,6	1,00	300,960	5,014	300,841

Tabela 3 – Dados coletados com um chuveiro comum na posição “inverno”

Verão											
Grandeza	T	m	t	V	C	Vz	dT	η	Q	Pot	E_{calc}
Unidade	°C	kg	s	V	A	l/min	°C	%	kJ	kW	kJ
Dia 2											
T_{amb} 20 °C	34,5	1,2	25	215	14,17	2,9	14,5	0,95	174,557	3,047	182,793
	29,0	1,8	21	215	14,18	5,1	9	1,06	193,474	3,049	182,922
	28,5	1,8	20	215	14,14	5,4	8,5	1,05	191,862	3,040	182,406
	26,9	2,5	22	217	14,26	6,8	6,9	1,06	196,650	3,094	185,665
	25,9	2,6	19	217	14,23	8,2	5,9	1,09	202,488	3,088	185,275

Tabela 4 - Dados coletados com um chuveiro comum na posição “verão”

Para as tabelas 3 e 4

T = temperatura (°C)

m = massa (kg)

t = tempo (s)

V = tensão (V)

C = corrente (A)

dT = diferença de temperatura (°C)

η = eficiência (%)

Q = energia (kJ)

Pot = potência (kW)

E_{calc} = energia (kJ)

Nas tabelas acima, a coluna correspondente à “ η (eficiência)” é calculada como sendo a relação entre a energia medida com o voltímetro e amperímetro (coluna “ E_{calc} ”), e a energia calculada pela fórmula da calorimetria Q. Ou seja, o valor de η é dado da seguinte maneira:

$$E_{calc} = V \cdot I \cdot 60$$

$$Q = Vazão \cdot C \cdot dT$$

$$\eta = \frac{Q}{E_{calc}} \cdot 100\%$$

O controle da temperatura do banho é feito diminuindo-se ou aumentando-se a vazão da água, fenômeno físico que não altera nenhum dos três parâmetros elétricos (resistência, tensão e corrente). Dessa forma, como podemos observar no gráfico abaixo, obtido através dos dados mostrados nas tabelas 3 e 4, a potência é praticamente invariável com a temperatura, ou seja, ao controlar a temperatura com a vazão, a potência consumida pelo chuveiro não se altera.

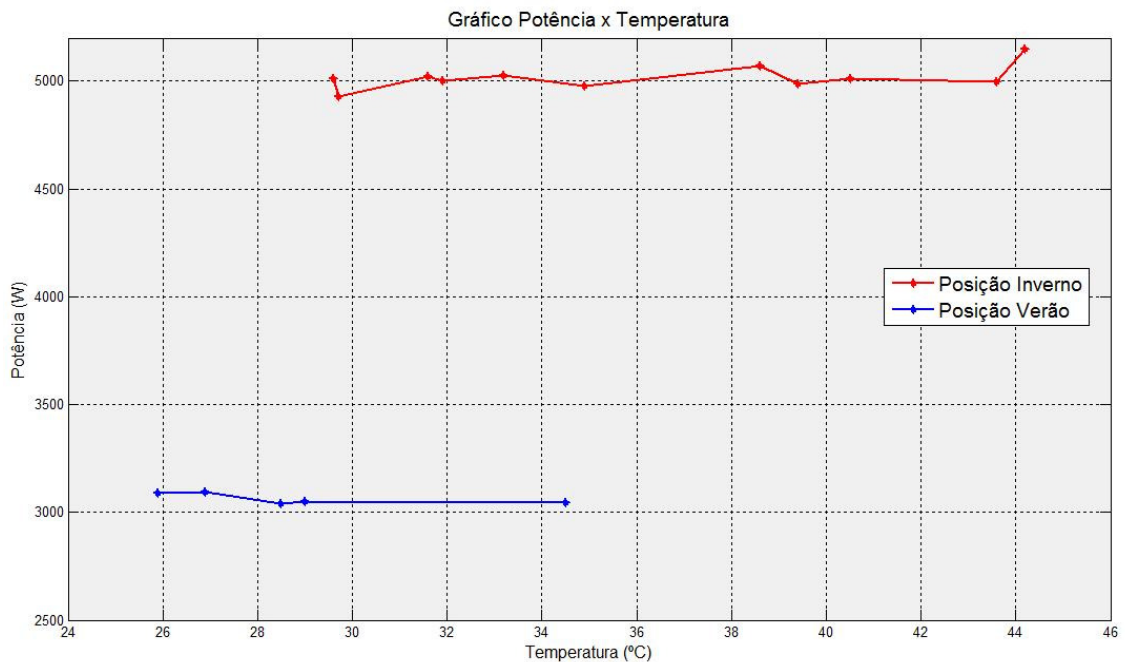


Gráfico 4 - Potência x temperatura de um chuveiro comum

Como o chuveiro comum é ligado quando a água exerce uma pressão nos terminais internos, há uma vazão mínima para que o chuveiro funcione. Para obter o gráfico 4 deixamos, inicialmente, o chuveiro na posição verão e variamos a vazão do máximo (registro todo aberto) ao mínimo, o que implica ter a temperatura variada do mínimo ao máximo, uma vez que são inversamente proporcionais. Assim, a temperatura variou de 25,9 °C a 34,5 °C e a potência permaneceu em torno de 3060 W.

Na posição inverno a temperatura variou de 29,6 °C a 44,2 °C e a potência permaneceu praticamente constante em 5000 W.

Uma vez que foram coletados vários valores e várias situações, e percebido certa linearidade e proximidade com valores estimados por cálculos, não se viu muita necessidade de coletar mais dados que os aqui expostos pelas tabelas anteriores. Entretanto, foram retirados valores de dias diferentes, para que se tivesse noção da atuação do chuveiro para diferentes temperaturas ambiente.

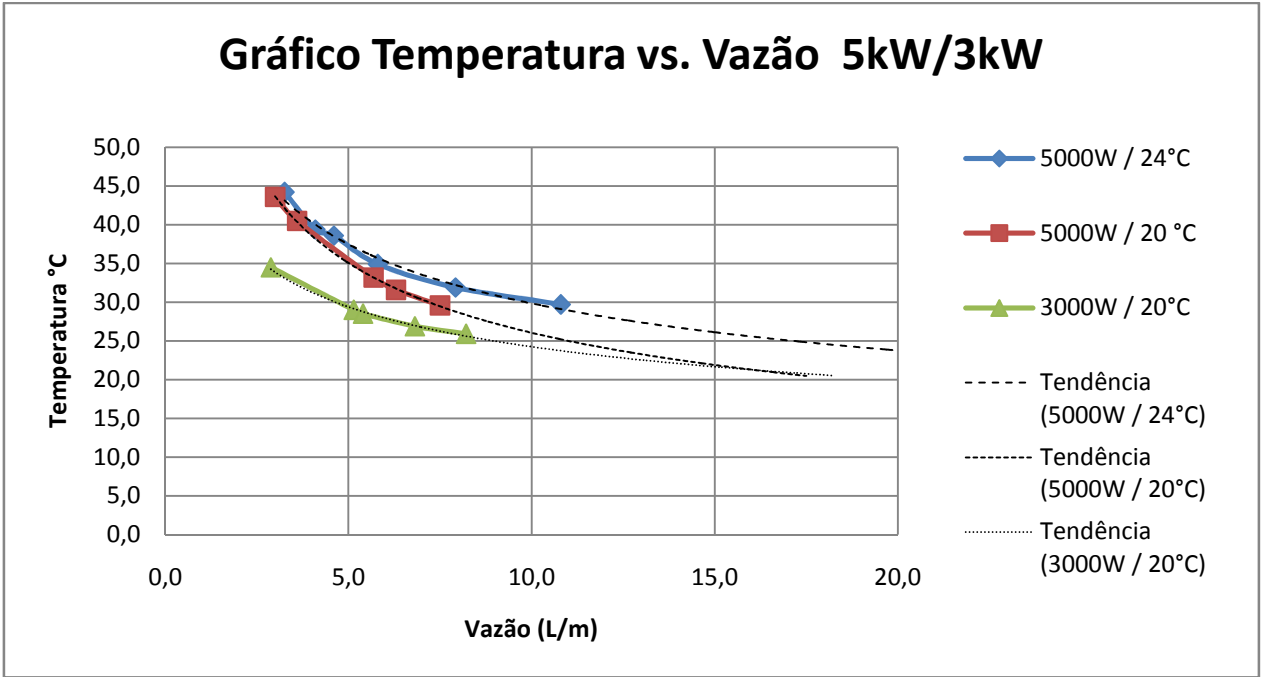


Gráfico 5 – Temperatura x vazão (Chuveiro comum)

Foram traçadas algumas linhas de tendência. Com estas foi possível perceber que elas tendiam à Temperatura Ambiente, o que era esperado ao desenvolvimento do projeto.

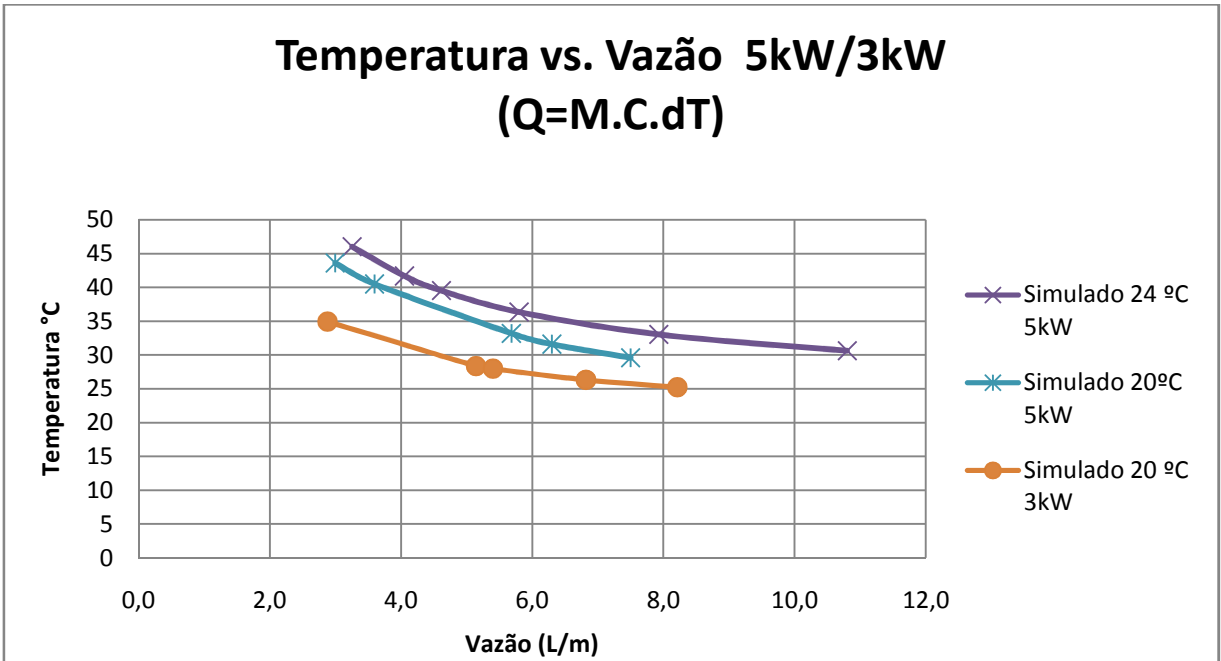


Gráfico 6 – Simulação da fórmula fundamental da calorimetria

4.3. Resultados relativos ao terceiro experimento

Neste terceiro e último experimento, foram extraídos mais dados, para que pudéssemos avaliar com mais clareza a atuação do controle projetado.

Caso I <i>setpoint</i> 28 °C					
PWM(%)	T (°C)	Vazão (l/m)	Potência Calculada (W)	Potência PWM (W)	Gasto Energético em 15 min (kJ)
55	28	12,0	3002	2750	2702,2
40	27,8	9,9	2351	2000	2115,6
36	27,8	8,7	2052	1800	1847
20	27,8	5,3	1257	1000	1131,1
15	28,2	3,5	919	750	827,1

Tabela 5 – Resultados PWM 28 °C

Caso II <i>setpoint</i> 32 °C					
PWM	T (°C)	Vazão (l/m)	Potência Calculada (W)	Potência PWM (W)	Gasto Energético em 15 min (kJ)
100	30,9	10,9	4940	5000	4446,0
90	31,4	9,2	4502	4500	4051,4
85	31,8	9,0	4617	4250	4155,0
70	31,7	7,7	3912	3500	3520,8
45	31,4	4,9	2387	2250	2148,7
22	32,2	2,5	1345	1100	1210,4

Tabela 6 – Resultados PWM 32 °C

Caso III <i>setpoint</i> 35°C					
PWM	T (°C)	Vazão (l/m)	Potência Calculada (W)	Potência PWM (W)	Gasto Energético em 15 min (kJ)
100	34,3	6,9	4764	5000	4287,3
95	34,9	6,2	4522	4750	4069,8
56	35	4,4	3241	2800	2916,7
40	35	3,5	2619	2000	2356,8
17	34,2	2,5	1345	850	1210,4

Tabela 7 – Resultados PWM 35 °C

Caso IV <i>setpoint</i> 40°C					
PWM	T (°C)	Vazão (l/m)	Potência Calculada (W)	Potência PWM (W)	Gasto Energético em 15 min (kJ)
100	33,3	7,8	4855	5000	4369,9
100	33,9	7,7	5100	5000	4589,6
100	35,3	6,6	4992	5000	4492,8
100	39,5	4,8	5027	5000	4523,9
70	39,9	3,4	3664	3500	3297,6

Tabela 8 – Resultados PWM 40 °C

Nas tabelas acima, o cálculo da coluna “Potência Calculada” é feito da seguinte maneira:

$$P_{calc} = \frac{Vazão}{60} \cdot C \cdot (T - T_{amb})$$

Para o cálculo da Potência, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$P = 5000 \cdot \frac{PWM}{100}$$

Por último, para o cálculo do Gasto Energético, faz-se:

$$Gasto = P_{Calc} \cdot 60 \cdot 15$$

Com os dados de cada caso, foram elaborados alguns gráficos para serem devidamente analisados. Com estes é possível ver o declínio da temperatura quando se coloca um *setpoint* muito elevado, o que implica que o chuveiro chegou ao seu limite de operação.

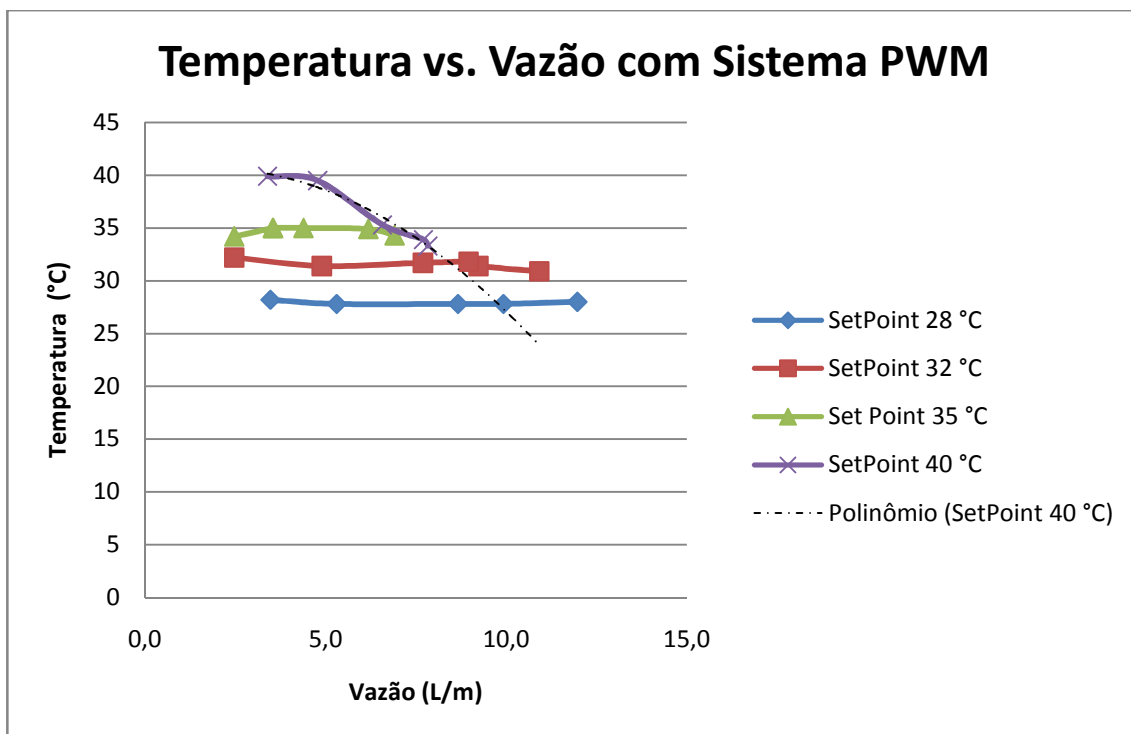


Gráfico 7 – Temperatura x vazão (Sistema PWM)

Do mesmo modo, é possível ver com o gráfico que relaciona potência e vazão abaixo, que a potência alcançou os 5000 W máximos e se manteve trabalhando para que a temperatura alcançasse o *setpoint*. Já nos outros casos, a potência fornecida foi somente a necessária.

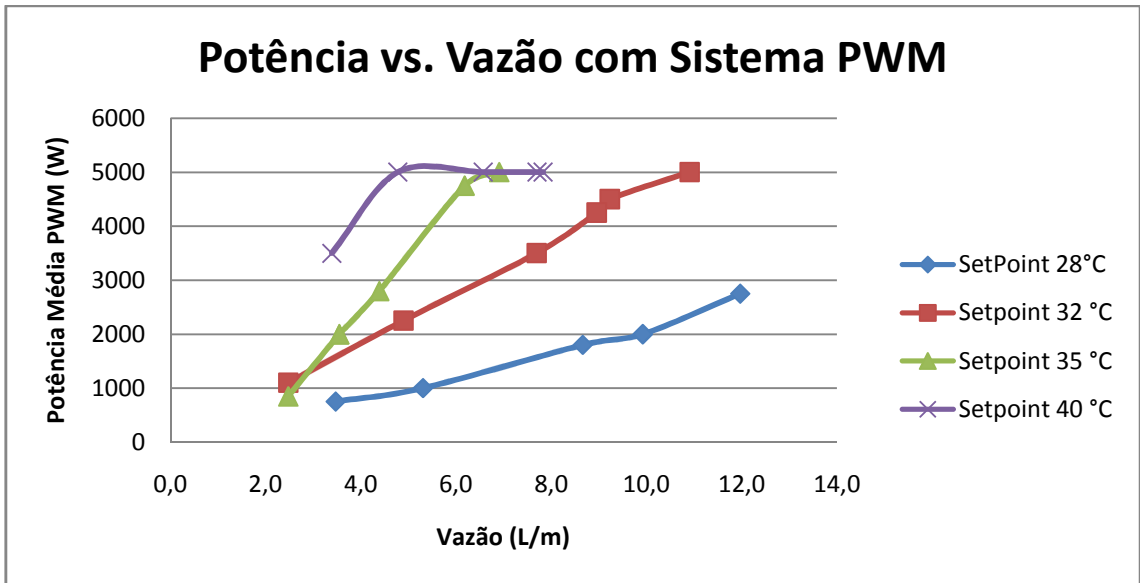


Gráfico 8 – Potência x vazão (Sistema PWM)

5. DISCUSSÕES

Os resultados obtidos nos experimentos foram satisfatórios para a demonstração da efetividade do controle feito pelo PID. Isso se deve ao fato de que, antes de se implementar o sistema, foram feitos cálculos que pudessem simular a situação. A questão é que nem sempre os modelos conseguem se equivaler à realidade. Entretanto, no caso deste trabalho, todas as etapas se mostraram de acordo com os modelos simulados no Excel e estudados no capítulo 2 deste trabalho.

Tendo em vista que os processos simulados são bem próximos à realidade, convém retomarmos aos trabalhos computacionais com o *software* desenvolvido em EXCEL. Como citado anteriormente, este consegue estimar a redução energética com o sistema.

Em primeira mão, colocou-se como entrada um banho com temperatura de 38°C, considerado como um banho morno/quente, a uma temperatura ambiente de 25°C. Para isso, o simulador calculou que seria necessária uma vazão de 4,8 l/m, se for utilizado um chuveiro com potência real de 4,5 kW.

Considerando o sistema híbrido (painel solar + sistema PWM), e que a temperatura escolhida foi de 38°C, reduziu-se a vazão a 3,6l/m, o que se considera uma vazão confortável para se tomar banho. Com essa vazão, temperatura, e sistema híbrido de aquecimento de água, o chuveiro consumiria, ao todo, 2,01 kW em média. Isso significa que o sistema está deixando de consumir 55,3% da energia gasta pelo modelo convencional sem controle de potência.

Na tabela abaixo, é possível ver a diferença entre os dois sistemas, comum (à esquerda) e Híbrido PWM (à direita):

3.2		3.2	
T (°C)	38	T (°C)	38
Vz (L/m)	4,8	Vz (L/m)	3,6
P (kW)	4,5	P (kW)	2,01

Tabela 9 – Comparativo entre as potências

Abaixo é possível de se ver outra tabela com as entradas e saídas do programa. Ela mostra que, em apenas um mês, um prédio com um total de 45 apartamentos e com média de 3 pessoas por apartamento, é possível se ter uma redução de R\$ 1.157,77 por mês, ou, ainda mais, em mais de R\$ 13.000,00 por ano. Estes valores ainda não podem ser considerados como economia de fato, pois não foram considerados os custos com implementação. Entretanto, considerando os itens que devem compor o sistema de

automação do prédio, estima-se que é possível de se repor o custo em um período de um ano.

Qtde de Pessoas	TempoBanho (min)	Qtde de Ap's	Consumo Kwh/mês	Preço/Predio (0,46)
3	15	45	4556,25	R\$ 2.095,88
3	15	45	2039	R\$ 938,11

TempoBanho	Ap/Andar	Andares
15 min	3	15

Qtde de Pessoas	N Ap's	Vz med
3	1	3,6

Placa Sol	dT terms	Tamb
50 m ²	2 °C	25 °C

Figura 14 – Inserção de dados e respostas

O que leva ao fato de o custo ser pequeno é:

- Não é necessário trocar as tubulações do prédio, uma vez que as tubulações usuais (normalmente) são feitas de PVC, e podem conduzir água até 40 °C (também normalmente) e a utilização do sistema projetado não passa água a mais que 32 °C.
- Não é necessária a troca de caixa d'água, uma vez que a própria caixa d'água utilizada no prédio é suficiente para que se execute o procedimento.
- O custo mais caro será, provavelmente, o custo com CLP. Entretanto, ao se dividir pela quantidade de apartamentos que serão beneficiados, este passa a ser, em alguns casos, irrelevante.
- Entre outros custos, estão os do projetista, instalação do projeto, cabos, termopares, etc. Estes precisam ser levados em conta, pois cada projeto deverá ter sua peculiaridade.

6. CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido obteve êxito com relação aos objetivos pré-determinados. Em outras palavras, a tentativa de se injetar no fluxo de água do chuveiro apenas o necessário para completar a temperatura almejada pelo usuário foi bem sucedida. Em resumo, isso se deu com a aplicação de uma onda (PWM) que libera a passagem de corrente na resistência no chuveiro durante um tempo e, em outro espaço de tempo corta a passagem.

Entretanto, como se trata de um projeto complexo, ainda existem alguns fatores para serem desenvolvidos, que, apesar do interesse dos participantes deste, não houve condições suficientes. Estes fatores envolvem, por exemplo, a viabilidade do projeto ser executado na prática, uma vez que existem variados custos.

Esse orçamento não foi elaborado devido ao fato de se ter de fazer um projeto real de instalação em um prédio. Este, por sua vez, é também de uma complexidade que não foi cabível aos integrantes. Outro fator interessante de ser estudado e aprimorado para dar continuidade a este projeto é a possibilidade de utilização de microprocessadores operando de forma pontual em cada chuveiro.

Por outro lado, se considerarmos apenas o benefício que o projeto já demonstrou existir, pode se considerar uma boa aplicação em termos de sociedade e sustentabilidade. Tendo em vista a quantidade de prédios existentes no Brasil, e a quantidade de energia consumida com chuveiro, como foi comentado na parte da motivação para este trabalho, é possível se proporcionar um impacto social benéfico.

7. BIBLIOGRAFIA

CENTRO INTERNACIONAL DE REFERÊNCIA EM REÚSO DA ÁGUA (CIRRA). **Estudo da USP Mostra Chuveiro Elétrico Como Opção Mais Econômica para Banho.** Disponível em: < <http://www.banhoeconomico.com.br/down/ci160409.pdf>> Acesso em: 10 out. 2013. São Paulo, 2009.

CORETTI, J. A. **Manual de Treinamento Básico de Controlador Programável.** Sertãozinho, Centro de Treinamento SMAR.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional.** 2013 - Ano Base 2012. Rio de Janeiro: EPE, 2013.

FALCO, G. de P. **Perfil Econômico do Consumidor Residencial de Energia Elétrica no Período entre 1994-2003.** 2003

LOSTER, M. - **Total Primary Energy Supply–FromSunlight –** disponível em <http://www.ez2c.de/ml/solar_land_area/>. Acesso em: 9 out. 2013.

PROCEL/ELETROBRÁS. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil – Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso –** Ano Base 2005. Rio de Janeiro, MME, 2007.

PUPO, M. S. **Interface Homem-Máquina para Supervisão de um CLP em Controle de Processos Através da WWW.** 2002. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2002.

SHINNERS, S. M. **Modern Control System Theory and Design.** Nova York: Wiley, 1992.

WARNOCK, I. G. **Programmable Controllers: Operation and Application.** Prentice Hall Europe, 1997.

8. ANEXO I

Estão anexos a este trabalho, nas páginas seguintes, os diagramas de linguagem *ladder* gerados pelo *software* TIA Automation. Os diagramas compreendem:

- Main [OB1]
- Cyclic interrupt [OB30]
- Cyclic interrupt_1 [OB31]
- Cyclic interrupt_2 [OB32]

Pwm / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/DC] / Program blocks

Main [OB1]

Main Properties

General

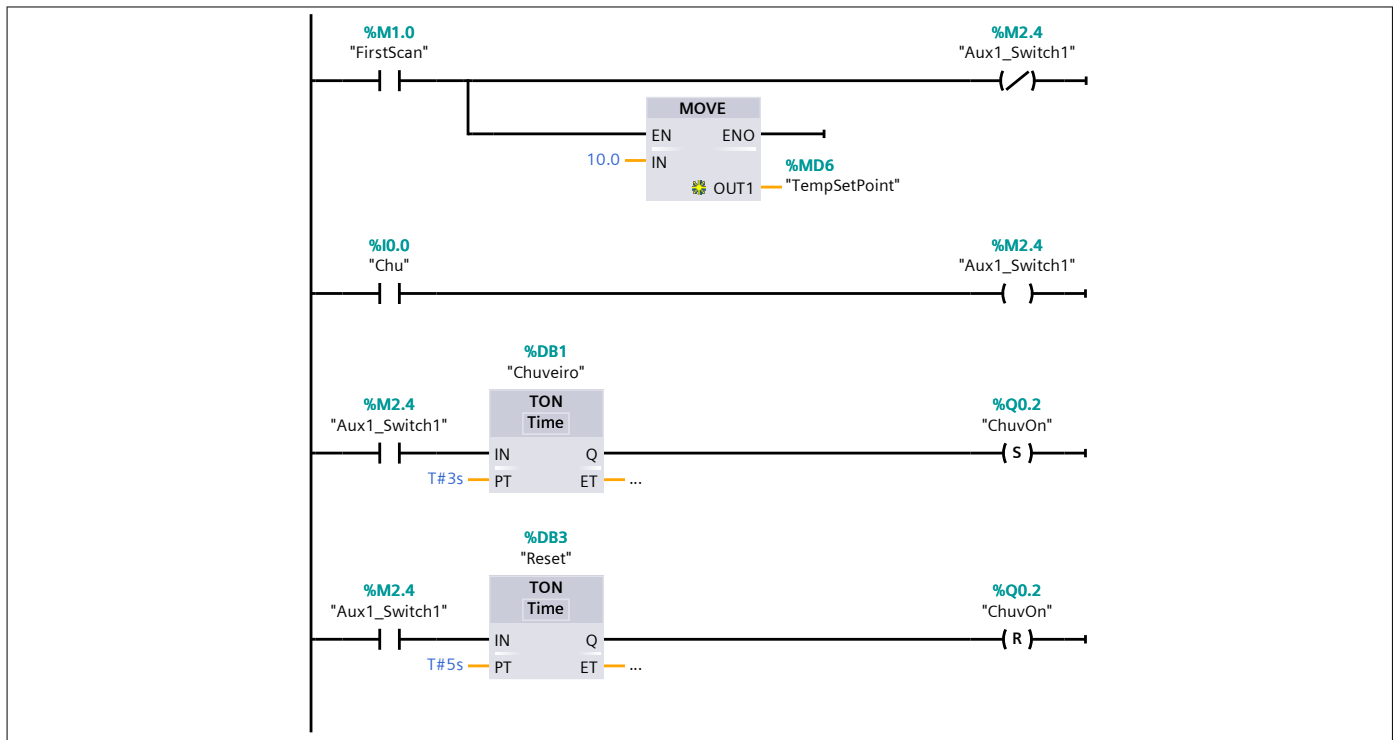
Name	Main	Number	1	Type	OB.ProgramCycle
Language	LAD				

Information

Title	"Main Program Sweep (Cycle)"	Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Offset	Comment
Temp			

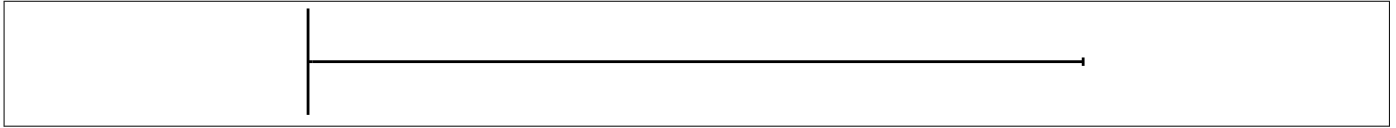
Network 1:



Symbol	Address	Type	Comment
"Chuveiro"	%DB1	IEC_Timer	
T#3s	T#3s	Time	
"Aux1_Switch1"	%M2.4	Bool	
"ChuvOn"	%Q0.2	Bool	
"Reset"	%DB3	IEC_Timer	
T#5s	T#5s	Time	
"Chu"	%I0.0	Bool	
"FirstScan"	%M1.0	Bool	

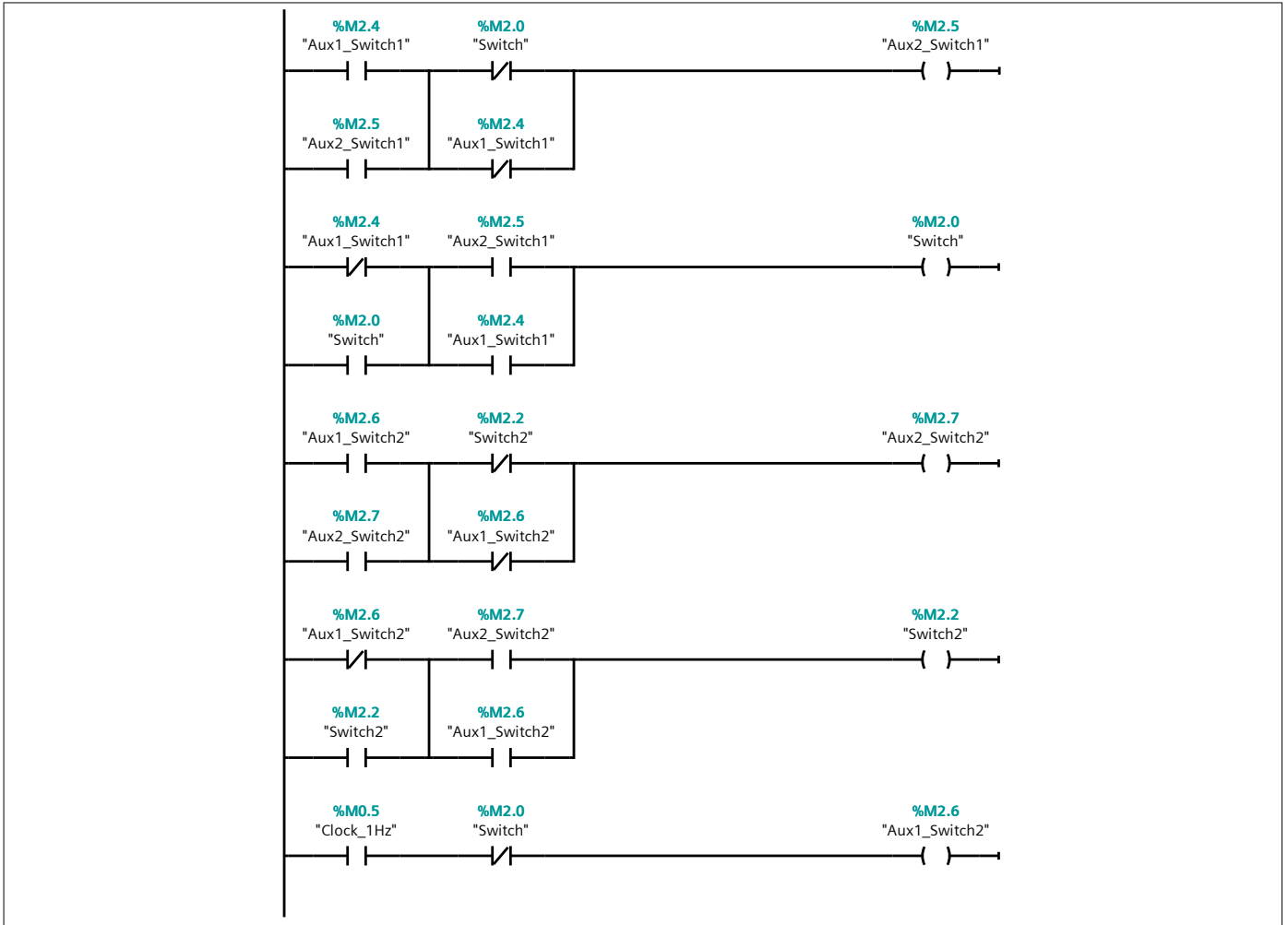
Symbol	Address	Type	Comment
"TempSetPoint"	%MD6	Real	
10.0	10.0	Real	

Network 2:



Symbol	Address	Type	Comment
--------	---------	------	---------

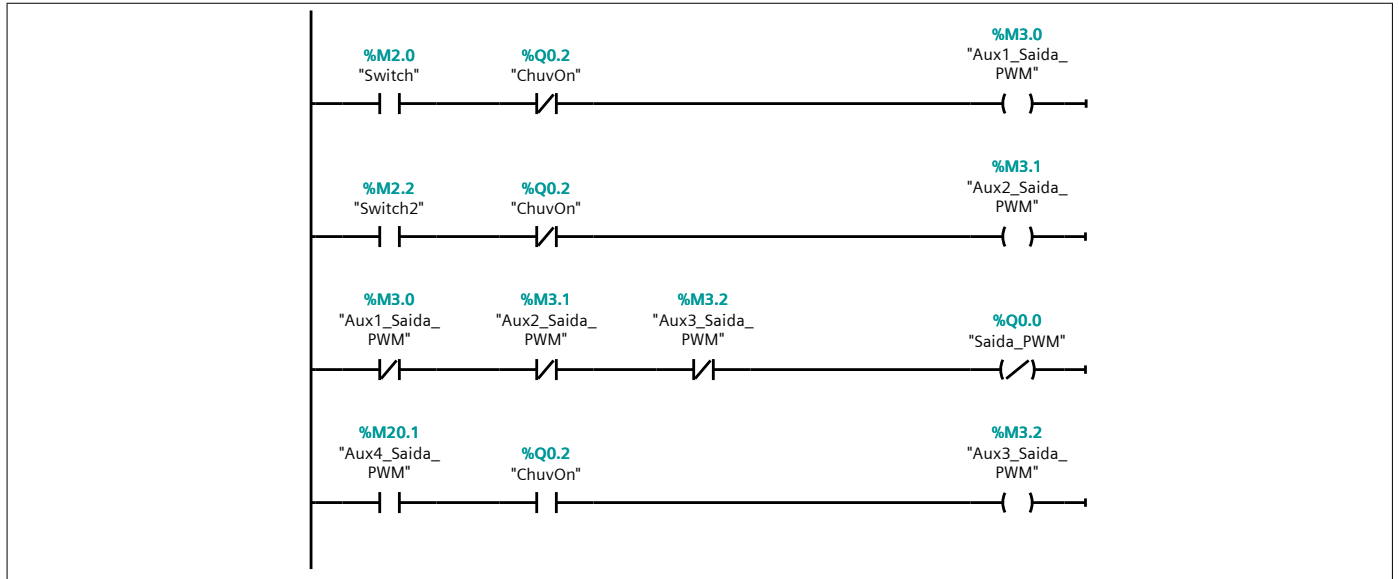
Network 3:



Symbol	Address	Type	Comment
"Aux1_Switch1"	%M2.4	Bool	
"Aux2_Switch1"	%M2.5	Bool	
"Switch"	%M2.0	Bool	
"Switch2"	%M2.2	Bool	
"Aux1_Switch2"	%M2.6	Bool	

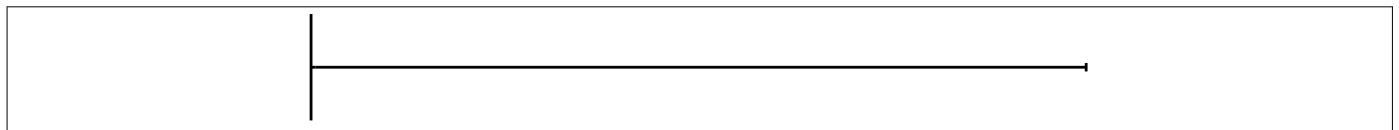
Symbol	Address	Type	Comment
"Aux2_Switch2"	%M2.7	Bool	
"Clock_1Hz"	%M0.5	Bool	

Network 4:



Symbol	Address	Type	Comment
"ChuvOn"	%Q0.2	Bool	
"Saida_PWM"	%Q0.0	Bool	
"Switch"	%M2.0	Bool	
"Switch2"	%M2.2	Bool	
"Aux1_Saida_PWM"	%M3.0	Bool	
"Aux2_Saida_PWM"	%M3.1	Bool	
"Aux3_Saida_PWM"	%M3.2	Bool	
"Aux4_Saida_PWM"	%M20.1	Bool	

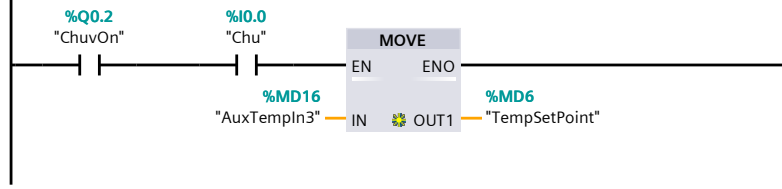
Network 5:



Symbol	Address	Type	Comment
--------	---------	------	---------

Network 6:

--	--	--	--



Symbol	Address	Type	Comment
"ChuvOn"	%Q0.2	Bool	
"Chu"	%I0.0	Bool	
"AuxTempln3"	%MD16	Real	
"TempSetPoint"	%MD6	Real	

Pwm / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/DC] / Program blocks

Cyclic interrupt [OB30]

Cyclic interrupt Properties

General

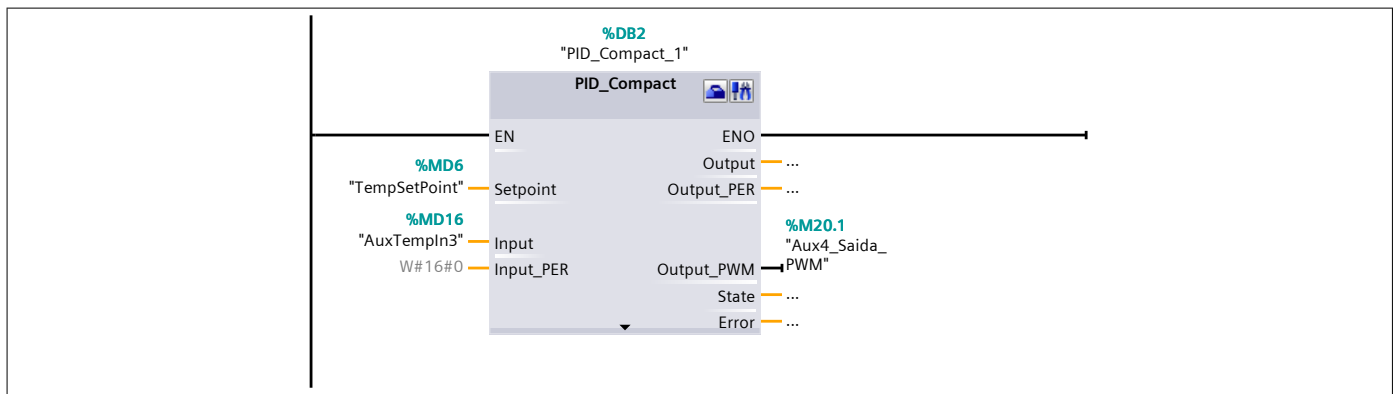
Name	Cyclic interrupt	Number	30	Type	OB.CyclicInterrupt
Language	LAD				

Information

Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Offset	Comment
Temp			

Network 1:



Symbol	Address	Type	Comment
"PID_Compact_1"	%DB2	Block_FB	
"TempSetPoint"	%MD6	Real	
"AuxTempIn3"	%MD16	Real	
"Aux4_Saida_PWM"	%M20.1	Bool	

Cyclic interrupt_1 [OB31]

Cyclic interrupt_1 Properties

General

Name	Cyclic interrupt_1	Number	31	Type	OB.CyclicInterrupt
Language	LAD				

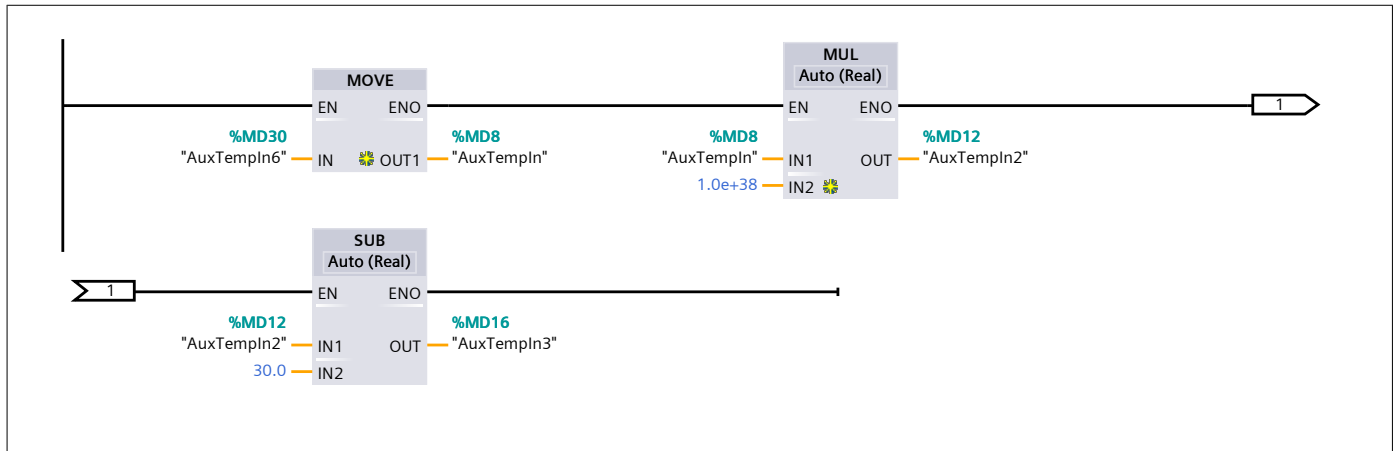
Information

Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Offset	Comment
Temp			

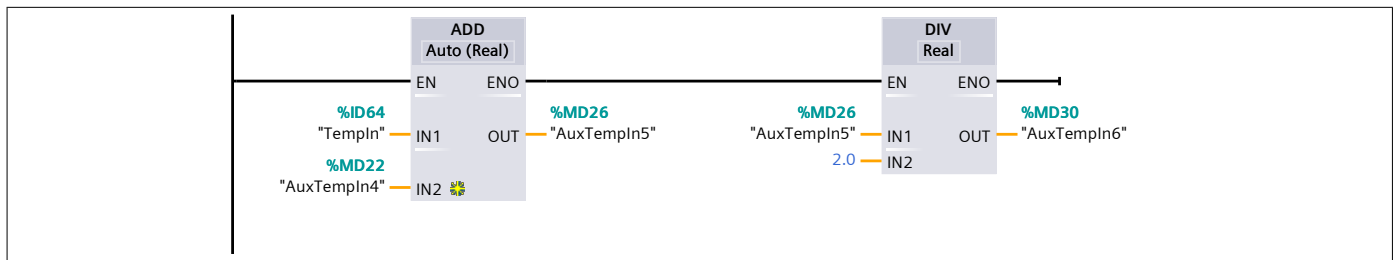
Network 1:

Network 1:



Symbol	Address	Type	Comment
"AuxTempln"	%MD8	Real	
"AuxTempln2"	%MD12	Real	
"AuxTempln3"	%MD16	Real	
"AuxTempln6"	%MD30	Real	
1.0e+38	1.0e+38	Real	
30.0	30.0	Real	

Network 2:



Totally Integrated
Automation Portal

Symbol	Address	Type	Comment
"Templn"	%ID64	Real	
"AuxTempln4"	%MD22	Real	
"AuxTempln5"	%MD26	Real	
2.0	2.0	Real	
"AuxTempln6"	%MD30	Real	

Cyclic interrupt_2 [OB32]

Cyclic interrupt_2 Properties

General

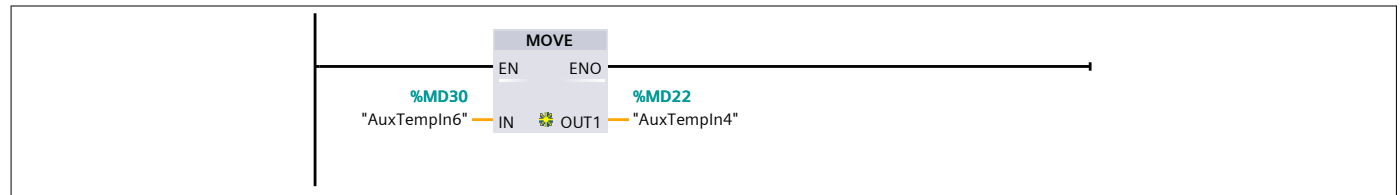
Name	Cyclic interrupt_2	Number	32	Type	OB.CyclicInterrupt
Language	LAD				

Information

Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Offset	Comment
Temp			

Network 1:



Symbol	Address	Type	Comment
"AuxTempln6"	%MD30	Real	
"AuxTempln4"	%MD22	Real	