

AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE ÁGUA QUENTE DO ALOJAMENTO VELHO DA UFV UTILIZANDO CLP ALTUS XP300

1º Daniel Alves Cota

Depto. de Engenharia Elétrica (DEL)

Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Viçosa-MG, Brasil

daniel.a.cota@ufv.br

2º André Gomes Tôres

Depto. de Engenharia Elétrica (DEL)

Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Viçosa-MG, Brasil

angoto@ufv.br

3º Heitor Sampaio Guimarães

Dir. de Projetos e Obras (DPO)

Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Viçosa-MG, Brasil

heitor.guimaraes@ufv.br

Abstract—Focusing on sustainability and energy efficiency, solar thermal heating is an effective solution for use in buildings with a high demand for hot water for sanitary purposes. This work presents a solution adopted using a Programmable Logic Controller (PLC) and ladder logic to automate the water heating system of a student dormitory. The automation and optimization of such systems are essential to minimize the use of electrical energy. The project demonstrates the feasibility of modernizing existing infrastructures through industrial automation for energy efficiency purposes.

Index Terms—student residence, solar thermal heating, automation, PLC, ladder.

Resumo—Com o foco em sustentabilidade e eficiência energética, o aquecimento solar térmico é uma solução eficaz para a utilização em edifícios com alta demanda de água aquecida para uso sanitário. Este trabalho apresenta uma solução adotada utilizando um Controlador Lógico Programável (CLP) e lógica ladder para automatizar o sistema de aquecimento de água de um alojamento estudantil. A automatização e otimização desses sistemas é fundamental para minimizar o uso de energia elétrica. O projeto demonstra a viabilidade da modernização de infraestruturas existentes por meio da automação industrial para fins de eficiência energética.

Palavras-Chave—alojamentos, aquecimento solar térmico, automação, CLP, ladder.

I. INTRODUÇÃO

A Universidade Federal de Viçosa dispõe de seis moradias estudantis (ME) que atualmente acomodam cerca de 1.033 estudantes do campus Viçosa. Essas moradias representam um importante componente do esforço da universidade em oferecer suporte aos estudantes em situação de vulnerabilidade econômica, abrangendo desde a alimentação até a moradia. De acordo com o pró-reitor de Assuntos Comunitários, Bruno David Henriques, "a assistência estudantil é um elemento central da política de educação. Isso porque contribui para a inclusão social, a promoção da igualdade e equidade, com valorização e respeito à diversidade, formação ampliada, produção de conhecimento, melhoria do desempenho escolar/acadêmico e da qualidade de vida" [1].

A estrutura das MEs da UFV, contam com: quarto, bancada de estudo individual, banheiro e cozinha. Para fornecer água

aquecida em todos os banheiros, os alojamentos utilizam um sistema de aquecimento elétrico com boiler central e suporte de placas solares.

Segundo o relatório "Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil – Pesquisa de Posse de equipamentos e Hábitos de Uso" (PROCEL, 2007), 73,5% dos sistemas de aquecimento de água utilizam de energia elétrica, isso em 2007 representava 6% do consumo energético nacional (cerca de 22 TWh/ano). Em 2009 a utilização de sistemas de aquecimento solar economizou cerca de 920 GWh [2], já em 2023 esse número foi de 12.484 GWh [3]. A utilização de técnicas de automação industrial pode contribuir ainda mais com essa economia.

Nesse processo de automação, os CLPs têm sido a base para tarefas de controle e coordenação de processos. Os CLPs foram desenvolvidos no final dos anos 60 como substitutos aos sistemas controlados por relés. Sua arquitetura robusta e modular permitiu a sua adoção em diferentes aplicações, desde o controle de máquinas simples até a gestão de complexos sistemas industriais. A capacidade de monitorar e controlar diversas variáveis em tempo real, aliada à possibilidade de comunicação com outros dispositivos, torna os CLPs ferramentas indispensáveis na indústria moderna [4].

A principal vantagem na utilização de CLPs na automação, em relação a sistemas controlados a relé, é a capacidade de reprogramação, o que permite ajustes conforme as necessidades do processo. Além disso, os programas desenvolvidos para um CLP podem ser facilmente replicados em outros dispositivos, garantindo uniformidade e agilidade na implementação de sistemas similares. Outro aspecto relevante é a possibilidade de diagnóstico visual, que possibilita a rápida identificação de falhas, facilitando manutenções preventivas e corretivas, aumentando a confiabilidade do processo.

II. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. CLP

Um CLP típico consiste em três componentes principais: a Unidade Central de Processamento (CPU), módulos de entrada e saída e a interface de programação. A CPU é o cérebro

do CLP, onde as instruções de controle são processadas. Os módulos de entrada recebem sinais de sensores e dispositivos de entrada, enquanto os módulos de saída enviam comandos para atuadores e outros dispositivos de controle.

A interface de programação, por sua vez, desempenha um papel crucial na interação entre o usuário e o CLP. Por meio dessa interface, os técnicos e engenheiros podem desenvolver, testar e modificar os programas que controlam o sistema automatizado. Ela permite a criação de lógicas de controle de maneira intuitiva, muitas vezes, utilizando linguagens de fácil compreensão, como a lógica *ladder* ou blocos funcionais. Além disso, a interface também facilita a monitorização em tempo real do estado do CLP, exibindo dados sobre as entradas, saídas e diagnósticos de falhas. Dessa forma, a interface de programação contribui para a eficiência operacional ao simplificar o processo de desenvolvimento e manutenção, garantindo maior precisão e confiabilidade na operação do sistema [5].

- **Sensores:** Os sensores ou transdutores são dispositivos que transformam uma condição física em um sinal elétrico que pode ser interpretado pelo CLP. Por exemplo, um sensor de pressão capacitivo, que transforma a pressão interna de um tanque em um sinal elétrico que pode ser lido pelo CLP.
- **Atuadores:** Os atuadores convertem os sinais elétricos do CLP em ações físicas, como ligar ou desligar um dispositivo. Esses atuadores podem movimentar válvulas, motores, bombas, usar energia elétrica ou pneumática.
- **Algoritmos de Controle:** Conjunto de instruções matemáticas que definem a lógica de funcionamento do controlador, determinando como ele deve reagir às diferentes situações e otimizar o desempenho do sistema.
- **Controladores:** Os controladores processam os sinais das entradas de acordo com um algoritmo de controle e determinam os estados das saídas. Esses sinais são convertidos em ações físicas pelos atuadores.

B. Algoritmos de Controle

Os CLPs são programados usando linguagens especializadas, que seguem normas internacionais como a IEC 61131-3 [6]. As linguagens mais comuns são:

- **Lógica Ladder:** Uma linguagem gráfica que se assemelha a diagramas de relés, facilitando a programação para engenheiros familiarizados com circuitos de relés.
- **Diagrama de Blocos Funcionais:** Utiliza blocos funcionais para representar funções lógicas, tornando-se ideal para aplicações complexas.
- **Texto Estruturado:** Uma linguagem textual de alto nível que permite a escrita de algoritmos complexos de forma eficiente.
- **Lista de Instruções:** Uma linguagem de baixo nível semelhante ao *assembly*, útil para programação detalhada e específica.

C. Logica Ladder

A execução de um programa em *ladder* ocorre em um ciclo de varredura (scan cycle), onde o CLP lê os estados das entradas e executa a lógica sequencialmente, geralmente da esquerda para a direita e de cima para baixo, ao final o CLP atualiza o estado das saídas [7].

Os elementos básicos da lógica *ladder* são:

- **contatos:** representam as condições de entrada (botões, chaves seletoras) ou variáveis auxiliares internas. Os tipos mais comuns são normalmente aberto (NA) e normalmente fechado (NF);
- **bobinas:** representam as ações de saída (chaves contadoras, atuadores).

Blocos funcionais da lógica *ladder*:

- **contadores:** são utilizados para incrementar ou decrementar valores até um determinado ponto e executam ações baseado nessa definição;
- **temporizadores:** utilizados para medir a passagem do tempo e executar alguma ação ao final do ciclo. Podem ser do tipo atraso na ativação ou retardo na desativação.

D. Aquecimento

O aquecimento solar representa um pilar da sustentabilidade energética. Este método se baseia no uso da radiação solar para aquecer um fluido, geralmente água. O principal objetivo desse método é substituir fontes de energia convencionais, como eletricidade, aproveitando a grande disponibilidade de energia térmica emitida pelo sol [9].

Para o funcionamento do aquecimento solar são utilizados coletores de calor, normalmente uma superfície de cor escura, que maximiza a absorção de calor. A água aquecida nos coletores é armazenada em um reservatório térmico para que seja usada de acordo com a necessidade.

Uma etapa fundamental do aquecimento solar é a circulação do fluido entre o coletor de calor e o reservatório. A circulação é necessária para que ocorra a transferência de energia de forma eficiente. Essa circulação pode ser natural ou forçada.

A circulação natural baseia-se na diferença de densidade do fluido, o fluido quente sobe e o frio desce, estabelecendo dessa forma um ciclo contínuo que funciona sem a necessidade de equipamentos auxiliares. O uso de bombas para circular a água no sistema de aquecimento solar é chamado de circulação forçada e é usado quando o volume de água aquecida é superior a 1 m³, quando a área de instalação das placas é de 12 m² ou quando o desnível entre coletores reservatório não é mínimo [10].

A Figura 1 é uma representação de um sistema simples de aquecimento solar, com coletor, reservatório térmico e bombas para circulação forçada.

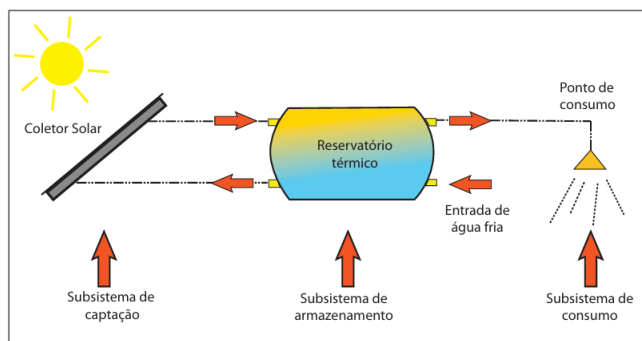


Fig. 1. Diagrama de sistema de aquecimento solar térmico. Fonte: (GREEN - Grupo de Estudos em Energia)

E. Temperatura ideal para banho

A literatura médica e estudos sobre termorregulação indicam que a zona de conforto para banhos de imersão (banheira) ou aspersão (chuveiro) situa-se ligeiramente acima da temperatura corporal humana, entre 36 °C e 41 °C [11]. Segundo a medicina, temperaturas abaixo de 36 °C são percebidas como mornas, ou frias, e temperaturas acima dos 41 °C começam a gerar desconforto térmico e vasodilatação excessiva em exposições prolongadas [12].

A NBR-5626-2020 [13], norma brasileira para sistemas prediais de água fria e quente, permite a distribuição de água até os 70 °C, porém alerta que a partir de 45 °C existe o risco de queimaduras. Para a norma, a temperatura máxima recomendada para o uso em duchas higiênicas, escolar infantis e determinadas clínicas e hospitais, é de 38 °C.

III. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema para o controle da temperatura da água dos chuveiros do edifício Bello Lisboa, conhecido pela comunidade como "Alojamento Velho" da UFV, mantendo essa temperatura em uma faixa confortável para banho nos horários escolhidos. Para a realização desta tarefa, serão utilizados o CLP XP300 da *Altus*, o software de programação *MasterTool IEC XE* e a linguagem *ladder*.

IV. MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto tem como base o ciclo de reformas nas moradias estudantis da UFV, iniciado em 2020, com investimentos superiores a R\$15 milhões. Essas intervenções têm como foco principal a melhoria da estrutura física, elétrica e hidráulica das edificações. A etapa final desse ciclo contempla a reforma do "Alojamento Velho" (Figura 2), prédio histórico inaugurado em 1928 e desativado desde 2018 [14].

O sistema deve fornecer água aquecida aos chuveiros. A temperatura mínima desejada para o uso foi definida em 38°C. A faixa de temperatura nos boilers foi definida entre 53 °C e 60 °C. O intervalo de operação do sistema é das 06:00 às 22:00. Horário esse que visa atender as necessidades de todos os moradores do alojamento.

Descrição da planta



Fig. 2. Foto da fachada principal do edifício Bello Lisboa. Fonte: Divulgação Institucional UFV.

A planta automação do aquecimento é formado por:

- dois boilers de 4.000 litros com dois resistores de 9.000W cada;
- quarenta coletores do tipo solar plano 2m²;
- seis bombas do tipo Solares 300 220V;
- duas válvulas solenoides do tipo normalmente aberto (NA);
- CLP Altus XP300;
- três conversores analógico-digital do tipo DLGXM-152;
- dez sensores PT-100;

O aquecimento da água nos alojamentos é realizado por meio de dois sistemas, um solar e um elétrico (Figuras 3,4 e 5):

- o sistema de aquecimento solar térmico é formado por um conjunto de 40 placas que desempenham a função de coletores térmicos e duas bombas para a circulação forçada da água. A fim de preservar as características históricas do edifício, optou-se por dividir as placas em dois conjuntos e instalá-las em lados opostos (Figura 6), cada conjunto tem seu par de bombas para circulação forçada. Uma consequência dessa abordagem é que cada conjunto tem o pico de potencial térmico em um horário diferente;
- o sistema de aquecimento elétrico é formado por dois boilers de 4.000 litros, que desempenham a função de reservatórios térmicos, cada qual com dois resistores de 9.000W que atuam como fonte de calor.

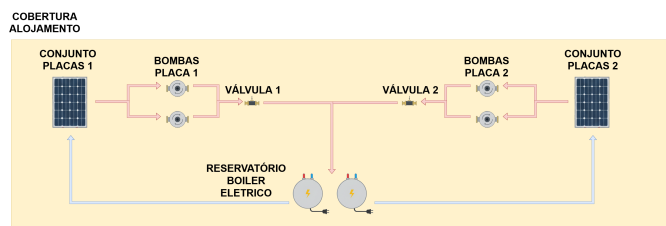


Fig. 3. Diagrama do sistema de aquecimento solar térmico do edifício.

COBERTURA ALOJAMENTO

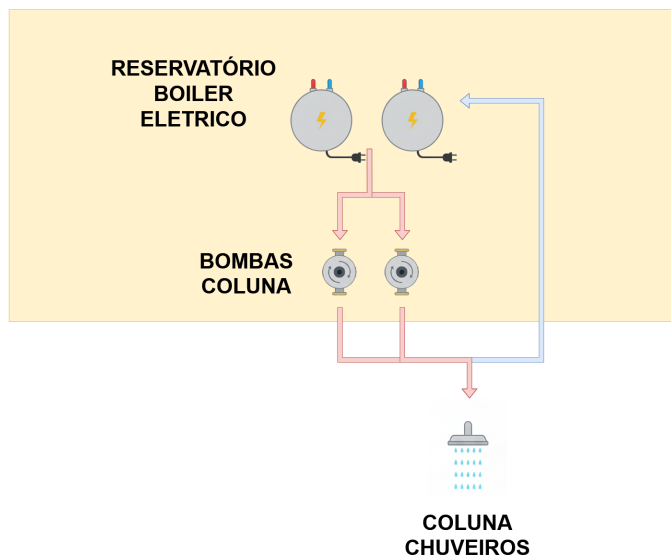


Fig. 4. Diagrama de aquecimento elétrico.

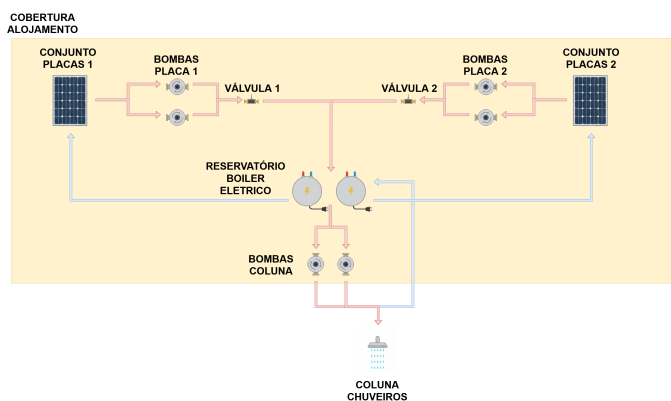


Fig. 5. Diagrama da planta de aquecimento e circulação da água completa.



Fig. 6. Vista aérea do edifício Bello Lisboa (1- Primeiro conjunto de placas; 2-Segundo conjunto de placas). Fonte: Google.

O controle e a gestão de todo o sistema (acionamento das bombas de circulação, do sistema auxiliar elétrico e monitoramento de temperatura) é realizado por um CLP Altus XP300, programado em lógica *ladder*, garantindo a otimização da eficiência energética e o intertravamento seguro dos componentes. O CLP está montado no interior de um painel que fica abaixo da cobertura do alojamento. Sensores do

TABELA I
ENTRADAS E SAÍDAS DO CLP

Entrada	Descrição	Saída	Descrição
I00	Modo Automático	Q00	Bomba Coluna 1
I01	Modo Manual	Q01	Bomba Coluna 2
I02	Bomba Coluna 1	Q02	Bomba 1 Placa 1
I03	Bomba Coluna 2	Q03	Bomba 2 Placa 1
I04	Resistor 1 Boiler 1	Q04	Resistor 1 Boiler 1
I05	Bomba 1 Placa 1	Q05	Resistor 2 Boiler 1
I06	Bomba 2 Placa 1	Q06	Válvula Solenoide 1
I07	Botão de Emergência	Q07	Válvula Solenoide 2
I10	Resistor 2 Boiler 1	Q10	Bomba 1 Placa 2
I11	Rele Falta de Fase NA	Q11	Bomba 2 Placa 2
I12	Relés Térmicos	Q12	Resistor 1 Boiler 2
I13	Resistor 1 Boiler 2	Q13	Resistor 2 Boiler 2
I14	Resistor 2 Boiler 2	Q14	Sinalizador de Sobrecarga
I15	Bomba 1 Placa 2	Q15	-
I16	Bomba 2 Placa 2	Q16	-
I17	-	Q17	-

tipo PT-100 foram instalados nas placas, boilers e na coluna de abastecimento de água dos chuveiros. A leitura desses sensores é realizada pelo conversor analógico-digital e chega ao CLP por meio de comunicação RS485, para que este possa executar todas as rotinas necessárias. A Tabela 1 lista todas as entradas e saídas do CLP e como elas estão sendo utilizadas.

A base do algoritmo de controle da planta é formada por três rotinas que funcionam de forma independente quando o sistema está em modo automático. Essas três rotinas são: boilers, placas de aquecimento e colunas de água. Todas as rotinas também podem ser ativadas de forma manual pelo painel de acionamentos.

A. Rotina Boilers

A rotina de operação dos boilers tem como função manter a temperatura da água dentro de uma faixa pré-determinada. Essa rotina funciona com uma lógica de controle do tipo liga e desliga, dessa forma quando a temperatura da água em um boiler é menor que 53 °C, os resistores do boiler são acionados e quando a temperatura atinge 60 °C os resistores são desligados. O método de controle foi escolhido devido a facilidade de implementação visando garantir a disponibilidade de água quente independente das condições climáticas, além de evitar que o sistema fique aguardando a água aquecer antes de enviá-la para a coluna d'água.

Outro diferencial da rotina dos boilers foi a lógica desenvolvida para acionamento de um resistor por vez, assim após o acionamento do primeiro resistor, o seguinte só será ativado após um intervalo de 30 segundos. Essa abordagem foi desenvolvida pensando em evitar qualquer tipo de sobrecarga no sistema elétrico, preservando a vida útil de seus componentes.

Utilizando o painel de automação também é possível desativar quaisquer resistores dos boilers, dessa forma caso um dos resistores apresente algum defeito, o boiler pode continuar sendo utilizado até o reparo do mesmo.

B. Rotina Placas de Aquecimento

A bomba que empurra a água de cada conjunto para o boiler é acionada sempre que a temperatura naquele conjunto é superior à dos boilers. O acionamento da bomba naquele conjunto de placas é independente do outro, dessa forma ocorre um melhor aproveitamento da incidência solar em cada lado da cobertura.

Um cenário que pode ocorrer quando um dos conjuntos de placas está quente e o outro não, é o contrafluxo de água, ou seja, a bomba de um conjunto empurra a água quente para o conjunto com a água fria. Para solucionar essa adversidade, válvulas solenoides foram utilizadas. Sempre que um conjunto está funcionando e outro não, uma válvula solenoide fecha a passagem de água para o conjunto que está inativo. Caso a circulação de ambos os conjuntos esteja ativada, ambas as válvulas são abertas.

Um dos focos do projeto foi o uso da redundância para garantir o fornecimento contínuo de água, então, cada conjunto de placas possui duas bombas, mas elas não são utilizadas ao mesmo tempo. Uma rotina de alternância automática foi implementada em conjunto com a rotina das placas, assim a cada cinco acionamentos a bomba utilizada por cada conjunto é trocada. Foi optado pelo rodízio entre as bombas a cada cinco acionamentos ao invés de definir uma como padrão e outra como reserva. O principal motivo dessa escolha foi a possibilidade de uma falha oculta na bomba reserva ser descoberta apenas quando a principal apresentar algum defeito, assim deixando o sistema inoperante. Além disso, essa abordagem evita o desgaste prematuro de uma única bomba, maximizando a vida útil do par.

C. Rotina Coluna d'água

O acionamento da rotina da bomba da coluna é feito quando a média da temperatura em todas as seções da coluna é menor que 40 °C e menor que a temperatura dos boilers. A rotina é desativada quando a temperatura média em todas as seções da coluna é maior do que 43 °C. A escolha dos valores reflete a temperatura ideal para banho definida anteriormente. Essa rotina de recirculação assegura que os usuários do alojamento não necessitem abrir o registro e aguardar o escoamento da água fria estagnada na coluna, garantindo o fornecimento imediato de água na temperatura ideal e promovendo maior eficiência hídrica da edificação.

V. RESULTADOS

A Figura 7, apresenta o painel de automação que abriga o CLP XP300 instalado no interior da cobertura do alojamento. O painel centraliza as funções de automação da planta. No exterior estão presentes todos os dispositivos de entrada e saída necessários para o controle e monitoramento das funções básicas do sistema. Caso ocorra o mau funcionamento de

algum dos resistores ou alguma das bombas, é por via deste painel que estas partes podem ser desativadas para que o sistema continue operando.

Em razão da limitação de entradas e saídas do CLP, o volume de informações coletadas e o número de saídas de controle foram restringidos. Essa limitação resultou na incapacidade do sistema em fornecer um diagnóstico de falha específico por componente. Consequentemente, a ocorrência de comportamento anômalo da planta torna obrigatória uma inspeção manual. Esta limitação de *hardware* impede a identificação remota e aumenta o tempo de resposta necessário para determinar e corrigir a causa de tal irregularidade.

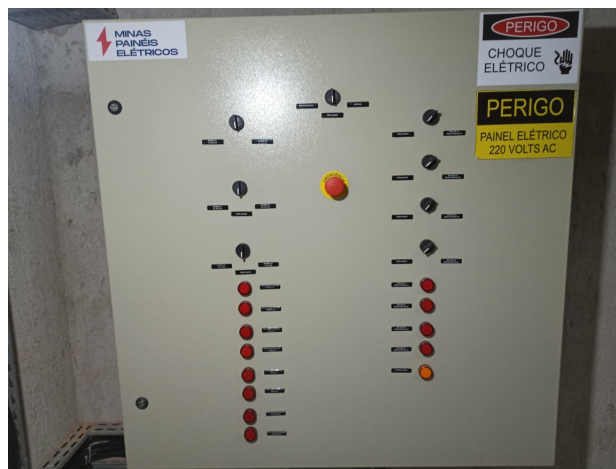


Fig. 7. Vista frontal do painel de controle do sistema de automação.

O CLP e os outros componentes necessários para a automação da planta, como nos disjuntores, relés, chaves contadoras e luzes de alerta, podem ser vistos na Figura 8. O painel está conectado à rede de dados interna da UFRV, permitindo que seja monitorado remotamente. Para acompanhar o funcionamento do sistema foi utilizado o próprio *software* de projeto da Altus.

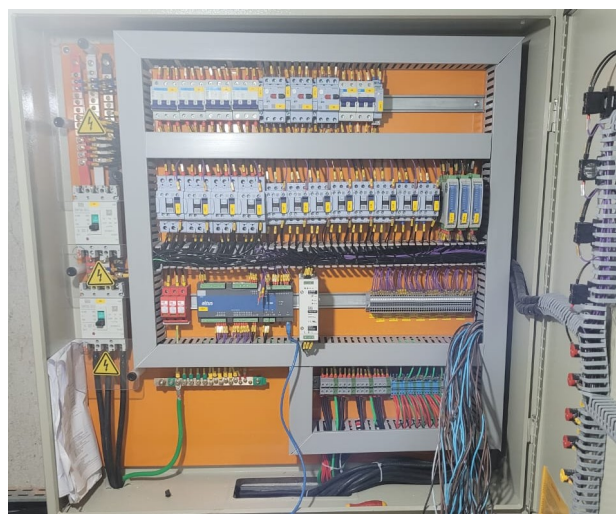


Fig. 8. Vista interna do painel de controle do sistema de automação.

A Figura 9 apresenta parte do código em *ladder* que o CLP executa para o controle do acionamento dos boilers de acordo com a logica liga-desliga. Quando a temperatura no boiler é menor que 53 °C os resistores dos boilers são acionados. Quando a temperatura atinge os 60 °C os resistores são desligados.

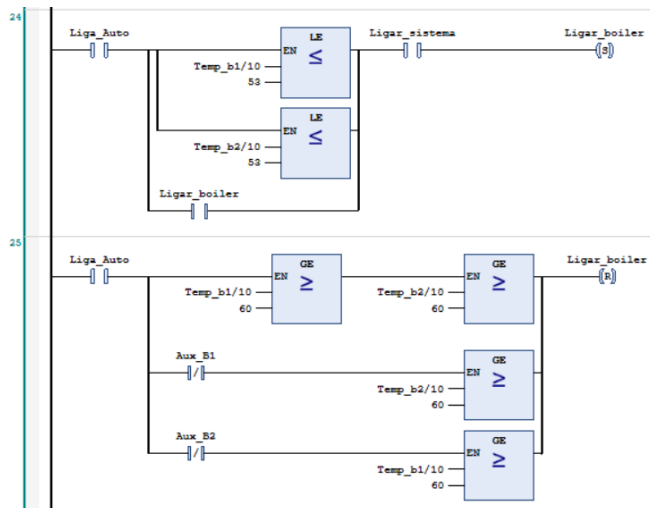


Fig. 9. Parte da rotina dos boilers em logica *ladder*.

O código presente na Figura 10 garante que um resistor só pode ser acionado trinta segundos após o último. A ordem de ativação padrão dos resistores é a sequência Resistor 1, 2, 3, 4, porém, caso um dos resistores esteja desativado o CLP consegue ativar o próximo da sequência sem precisar aguardar trinta segundos adicionais.

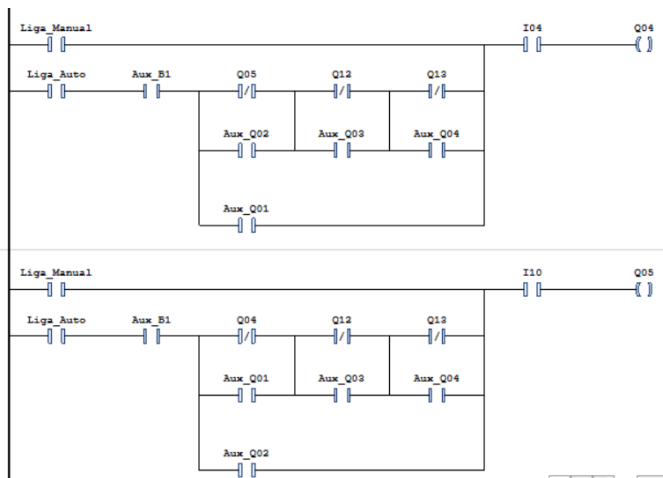


Fig. 10. Parte da rotina dos resistores dos boilers em logica *ladder*.

A Figura 11 apresenta parte do código que executa a rotina das placas. Como é possível observar, a bomba do primeiro conjunto de placas é acionada sempre que a temperatura nela for maior que a temperatura nos boilers e desativada sempre que a temperatura dos boilers é maior. A bomba das placas também é desativada quando a temperatura da água nos boilers

é maior que 65 °C, evitando um aquecimento exagerado d'água em dias muito quentes.

O intertravamento das válvulas solenoides é executado pelo *ladder* da Figura 12. Quando todas as bombas estão desativadas, ambas as solenoides estão abertas. Ao ocorrer o acionamento de uma das bombas, a válvula referente aquele conjunto continua aberta e a do conjunto contrario é fechada. Quando a operação dos conjuntos é simultânea, ambas as válvulas permanecem abertas.

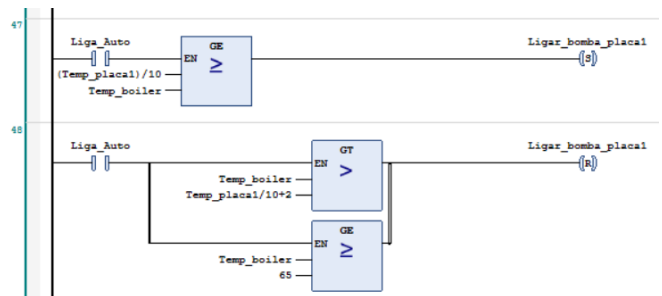


Fig. 11. Parte da rotina das placas em logica *ladder*.

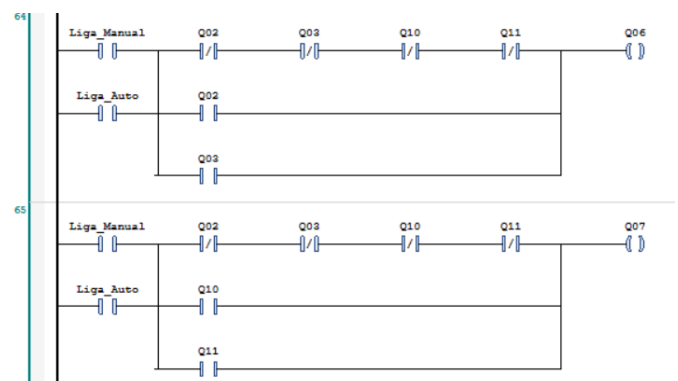


Fig. 12. Parte da rotina das placas responsável pelas válvulas em logica *ladder*.

A Figura 13 apresenta parte do código que executa a rotina da coluna, que circula a água da coluna dos chuveiros devolvendo a água fria para os boilers, permitindo a chegada de água aquecida para a coluna d'água dos alojamentos novamente.

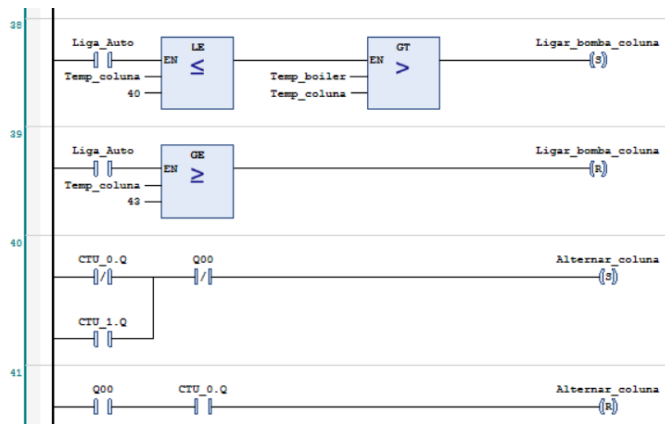


Fig. 13. .Parte da rotina das colunas em logica ladder.

Nas Figuras 14 e 15 é possível observar as variáveis de processo, dessa forma é possível saber qual o estado atual da planta. Entre as informações que podem ser obtidas nesse momento estão as temperaturas nos boilers, placas, colunas, o estado atual das chaves de seleção do painel e estado dos indicadores visuais. A imagem 16 representa as entradas e saídas do CLP, assim como foram descritas na tabela 1.

Expressão	Tipo	Valor
Temp_boiler	REAL	59
Temp_b1	WORD	596
Temp_b2	WORD	689
Temp_placa1	WORD	199
Temp_placa2	WORD	199
Temp_coluna	WORD	249
Temp_coluna2	WORD	249
Temp_coluna3	WORD	239
Temp_coluna4	WORD	237
Temp_coluna5	WORD	300
Temp_coluna6	WORD	384
Temp_coluna7	WORD	0
Temp_coluna8	WORD	0
Temp_coluna9	WORD	0
Temp_coluna11	WORD	0
Temp_coluna10	WORD	0

Fig. 14. Variáveis de processo capturadas durante a execução do programa.

TON_NR_0	TON_NR	
Liga_Auto	BOOL	TRUE
Liga_Manual	BOOL	FALSE
Aux_B1	BOOL	TRUE
Aux_B2	BOOL	TRUE
Temp_predef	REAL	0
Ligar_bomba_coluna	BOOL	TRUE
Ligar_bomba_placa1	BOOL	FALSE
Ligar	BOOL	FALSE
Temp_placa	REAL	0
T_min	REAL	0
T_max	REAL	0
Temp_boiler_ok	BOOL	FALSE
Ligar_Temp_placa	BOOL	FALSE
Temp_B2_maior	BOOL	FALSE
Temp_B1_maior	BOOL	FALSE
Temp_P2_maior	BOOL	FALSE
Temp_P1_maior	BOOL	FALSE

Fig. 15. Variáveis de processo capturadas durante a execução do programa.

I00	REFERENCE TO BOOL	TRUE	Modo_Auto
I01	REFERENCE TO BOOL	FALSE	Modo_Manual
I02	REFERENCE TO BOOL	TRUE	Sel_Bomba1_coluna
I03	REFERENCE TO BOOL	FALSE	Sel_Bomba2_coluna
I04	REFERENCE TO BOOL	TRUE	Resistencia1_boiler1
I05	REFERENCE TO BOOL	TRUE	Sel_Bomba1_placa1
I06	REFERENCE TO BOOL	FALSE	Sel_Bomba2_placa1
I07	REFERENCE TO BOOL	TRUE	Emergencia
I10	REFERENCE TO BOOL	TRUE	Resistencia2_boiler1
I11	REFERENCE TO BOOL	TRUE	RFF_NF
I12	REFERENCE TO BOOL	FALSE	RT Coluna/Placa
I13	REFERENCE TO BOOL	TRUE	Resistencia1_boiler2
I14	REFERENCE TO BOOL	TRUE	Resistencia2_boiler2
I15	REFERENCE TO BOOL	FALSE	Sel_Bomba1_placa2
I16	REFERENCE TO BOOL	FALSE	Sel_Bomba2_placa2
I17	REFERENCE TO BOOL	FALSE	
Q00	REFERENCE TO BOOL	TRUE	Bomba1_coluna
Q01	REFERENCE TO BOOL	FALSE	Bomba2_coluna
Q02	REFERENCE TO BOOL	FALSE	Bomba1_placa1
Q03	REFERENCE TO BOOL	FALSE	Bomba2_placa1
Q04	REFERENCE TO BOOL	TRUE	Resistencia1_boiler1
Q05	REFERENCE TO BOOL	TRUE	Resistencia2_boiler1
Q06	REFERENCE TO BOOL	FALSE	Solenoid1
Q07	REFERENCE TO BOOL	FALSE	Solenoid2
Q10	REFERENCE TO BOOL	FALSE	Bomba1_placa2
Q11	REFERENCE TO BOOL	FALSE	Bomba2_placa2
Q12	REFERENCE TO BOOL	TRUE	Resistencia1_boiler2
Q13	REFERENCE TO BOOL	TRUE	Resistencia2_boiler2
Q14	REFERENCE TO BOOL	FALSE	Sinalizador_sobrecarga
Q15	REFERENCE TO BOOL	FALSE	
Q16	REFERENCE TO BOOL	FALSE	
Q17	REFERENCE TO BOOL	FALSE	Saída Digital 17

Fig. 16. Entradas e saídas do CLP no MasterTool IEC XE.

A Tabela 2 apresenta as medições da temperatura nos dois boilers durante o dia 16/11. É perceptível a discrepância de temperatura entre os boilers, isso se deve ao fato de um deles estar operando com apenas um resistor. O pico de desvio entre os boilers nesse dia foi de 14,3% as 14:25. O gráfico da Figura 17 ilustra os dados da Tabela 2.

TABELA II
TEMPERATURA DOS BOILERS DURANTE O DIA 16/11

Hora	Temperatura Boiler 1 (°C)	(Temperatura Boiler 2 (°C))	Varição (%)
04:32	53,4	54,7	2,4
05:42	53,4	55,7	4,1
07:41	54,3	60,2	9,8
09:20	55,5	63,3	12,3
14:25	59,4	69,3	14,3
16:24	59,9	69,8	14,2
19:38	59,6	68,9	13,5
20:45	59,4	68,5	13,3
21:44	59,3	67,7	12,4

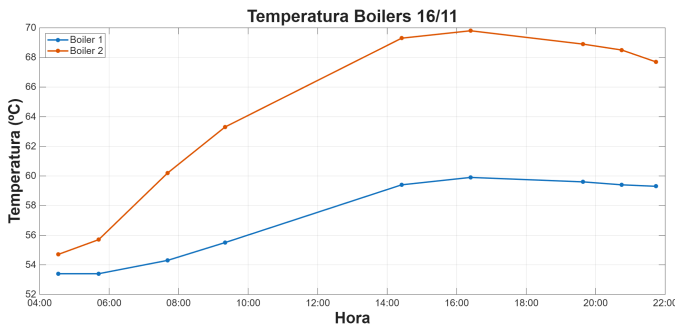


Fig. 17. Gráfico da variação da temperatura nos boilers.

A Figura 18 apresenta a variação da temperatura nas placas durante o dia 16/11. Diferente do que se esperava, a temperatura da água nas placas apresentou o pico nos mesmos horários, essa ausência de variação pode ser justificável por estarmos no verão, sendo mais presente no inverno. Além disso, a variação de temperatura entre ambos os conjuntos foi mínima, chegando a no máximo 5,5% as 16:25.

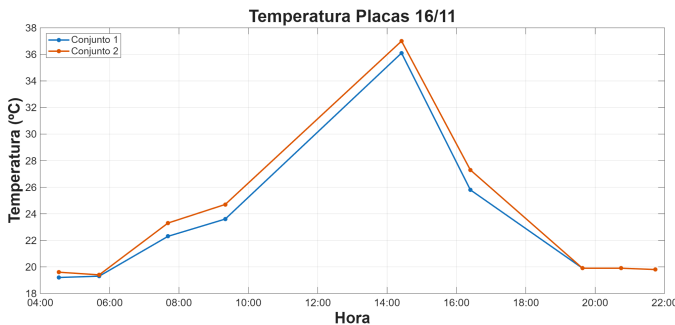


Fig. 18. Gráfico da variação da temperatura nas placas.

A Figura 19 apresenta a variação da temperatura em duas seções da coluna durante o dia 16/11. Devido ao fato de o Alojamento Velho não ter sido oficialmente inaugurado após as reformas, o sistema opera de forma parcial, com componentes da planta ainda inoperantes. Especificamente, as bombas de recirculação encontram-se indisponíveis, condicionando a chegada de água quente ao escoamento da água fria estagnada na tubulação. Além disso, apenas uma das seções

do edifício está sendo utilizada, o que torna a demanda por água quente baixa em relação ao esperado. Com isso, a água aquecida está sendo entregue em apenas uma das seções da coluna. O gráfico demonstra que a temperatura na Seção 1 da coluna se manteve constante durante o dia, enquanto na Seção 6, responsável pela área ocupada, a temperatura atingiu um pico de 38 °C devido ao uso dos atuais moradores.

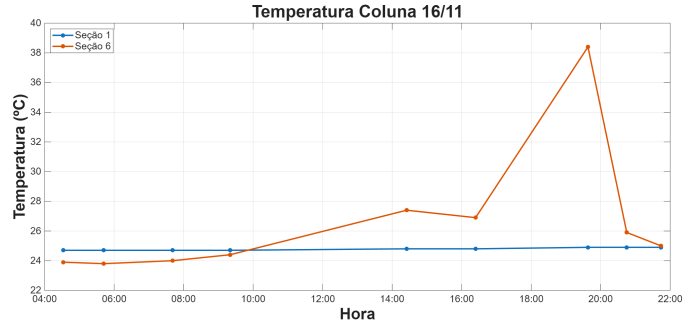


Fig. 19. Gráfico da variação da temperatura na coluna.

VI. CONCLUSÃO

Após a análise dos resultados é possível concluir que o sistema funciona de forma efetiva, todas as funções propostas foram implementadas e funcionam corretamente. O funcionamento dos boilers é mínimo durante o dia, logo existe um bom aproveitamento da capacidade solar. A temperatura da água entregue à coluna dos chuveiros é suficiente para o conforto dos atuais moradores do Alojamento Velho. Após a inauguração do edifício uma análise mais detalhada dos novos resultados pode ser feita para o ajuste de algumas variáveis, como a temperatura d'água nas colunas ou o intervalo de funcionamento do sistema.

Para trabalhos futuros, propõe-se a instalação de um módulo de memória no CLP para registrar a temperatura dos sensores e o tempo de acionamento de cada saída. Assim não será mais necessário intervenções manuais para coleta de dados do sistema. Outra sugestão é o desenvolvimento de uma interface para supervisorio (SCADA), dessa forma o monitoramento do sistema pode ser mais funcional e as informações salvas no módulo de memória podem ser utilizadas para criar gráficos em tempo real.

Finalmente, integrado ao modulo de memória e ao sistema supervisorio, recomenda-se o desenvolvimento de um modelo de detecção e diagnostico de falhas. Este modelo fará a análise de tendencia dos dados históricos de forma a identificar comportamentos anômalos nos componentes do sistema em tempo real. Dessa forma será possível emitir alertas automáticos assim que uma falha se manifestar, ou até mesmo antes, viabilizando a manutenção imediata, ou preventiva, do sistema.

REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL. **Auxílios contribuem para permanência do estudante na UFV.** Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 19 jan. 2024. Disponível em: <https://www2.dti.ufv.br/noticias/scripts/exibeNoticiaMulti.php?codNot=41039>. Acesso em: 26 set. 2025.

- [2] BRASIL. **Plano Nacional de Eficiência Energética – PNEf**. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2011. Disponível em: <https://www.mme.gov.br/>. Acesso em: 26 set. 2025.
- [3] BRASIL. **Relatório Síntese**. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia 2024. Disponível em: <https://www.mme.gov.br/>. Acesso em: 26 set. 2025.
- [4] CLAITON MORO FRANCHI; DE, A. **Controladores lógicos programáveis: sistemas discretos**. São Paulo: Érica, 2008.
- [5] PETRUZZELLA, Frank D. **Controladores Lógicos Programáveis**. Porto Alegre: AMGH Editora, 2014.
- [6] IEC 61131-3:2013 **Programmable controllers - Part 3: Programming language**
- [7] GROOVER, M. P. **Automação industrial e sistemas de manufatura**. São Paulo: Pearson Education Do Brasil, 2011.
- [8] **Fundamentos de Sistemas Solares Térmicos** (Alex Vazzoler).
- [9] **Introdução ao Sistema de Aquecimento Solar** (Prof. Marco A. Simões)
- [10] OLIVEIRA, Anderson Geraldo Alves de. **MODELAGEM e Simulação de um Sistema Solar de Aquecimento e Distribuição de Água Quente**. 2014.
- [11] GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de Fisiologia Médica**. 13. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. (Capítulo sobre Regulação da Temperatura Corporal).
- [12] XU, J.; CHEN, W. **Impact of Water Temperature on Heart Rate Variability during Bathing** *Life* (Basel), v. 11, n. 5, p. 378, 22 abr. 2021. DOI: 10.3390/life11050378. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8145520/>. Acesso em: 12 nov. 2025.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: Sistemas prediais de água fria e água quente — Projeto, execução, operação e manutenção. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.
- [14] BRASIL. **Reforma no Alojamento Velho concilia preservação da história com segurança para moradores**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 15 dez. 2021. Disponível em: <https://www2.dti.ufv.br/noticias/scripts/exibeNoticiaMulti.php?codNot=36337>. Acesso em: 26 set. 2025.