

**ECONOMIA DE ENERGIA E OTIMIZAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DE APARELHOS DE AR
CONDICIONADO EM DATA CENTERS COM SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO**

Luan Rene Costa ⁽¹⁾ (luan@vivaautomacao.com.br), Tiago de Freitas Paulino ^(1,2) (tiagopaulino@cefetmg.br),
Thiago Augusto Araujo Moreira ⁽¹⁾ (thiago.moreira@cefetmg.br)

⁽¹⁾ Centro Federal De Educação Tecnológica De Minas Gerais (CEFET MG); Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica

⁽²⁾ Centro Federal De Educação Tecnológica De Minas Gerais (CEFET MG); Centro de Pesquisa em Energia Inteligente (CPEI)

RESUMO: *O controle automatizado dos sistemas de refrigeração em datacenters permite a operação alternada de dois aparelhos de ar condicionado com setpoints pré-definidos. Isso garante que os compressores estejam sempre em operação, evitando falhas causadas por inatividade, especialmente em situações de emergência, onde é necessário um backup para o ar condicionado principal. Os aparelhos têm capacidades de refrigeração diferentes: o de menor capacidade pode não atender à demanda do datacenter dependendo da carga térmica a ser removida, enquanto o de maior capacidade consome mais energia. A alternância controlada permite economizar energia e manter o equilíbrio térmico. Para implementar esse controle, foram utilizados dois sensores de temperatura NTC para medições em diferentes regiões do datacenter, emissores infravermelhos para ativação dos equipamentos e sensores de corrente não invasivos para monitorar o estado de operação. O sistema foi analisado durante 60 dias, resultando em uma proporção de uso de 6,53 vezes para o ar condicionado de menor capacidade em relação ao de maior capacidade. Essa abordagem mostrou-se promissora, proporcionando economia de energia de 21,63% e maior segurança no controle térmico do datacenter.*

PALAVRAS-CHAVE: AUTOMAÇÃO, CONTROLE, DATACENTER, AR CONDICIONADO.

**ENERGY SAVING AND OPTIMIZATION OF THE OPERATION OF AIR CONDITIONING APPLIANCES IN
DATA CENTERS WITH AUTOMATION SYSTEMS**

ABSTRACT: *The automated control of refrigeration systems in data centers allows the alternating operation of two air conditioning units with pre-defined setpoints. This ensures that the compressors are always in operation, preventing failures caused by inactivity, especially in emergency situations where a backup to the main air conditioning is required. The devices have different cooling capacities: the one with the lowest capacity may not meet the demand of the data center depending on the ambient temperature, while the one with the highest capacity consumes more energy. Controlled alternation allows you to save energy and maintain thermal balance. To implement this control, two NTC temperature sensors were used for measurements in different regions of the datacenter, infrared emitters to activate the equipment and non-invasive current sensors to monitor the operating state. The system was analyzed for 60 days, resulting in a usage ratio of 6.53 times for the air conditioner with the lowest capacity in relation to the one with the highest capacity. This approach proved promising, providing energy savings of 21.63% and greater security in thermal control of the data center.*

KEYWORDS: AUTOMATION, CONTROL, DATACENTER, AIR CONDITIONING.

1. INTRODUÇÃO

A operação adequada de sistemas de ar condicionado é objeto de estudo de diferentes pesquisas (WANG *et al.*, 2014; YANG, GHAHRAMANI e BECERIK-GERBER, 2016; TAHERI, HOSSEINI, e RAZBAN, 2022). Quando deseja-se avaliar os sistemas de ar condicionado de datacenters, a eficiência energética e a confiabilidade são fundamentais na operação, demandando sistemas robustos e bem gerenciados para garantir a continuidade do funcionamento em temperatura e umidade adequados. Datacenters utilizam múltiplos aparelhos de ar condicionado para assegurar o controle da temperatura ambiente e garantir que sempre haja um aparelho de backup em casos de falhas. A operação contínua e simultânea desses sistemas pode resultar em elevados custos de energia e maior desgaste dos equipamentos.

Automatizar a alternância entre aparelhos de ar condicionado com capacidades de refrigeração distintas não só otimiza o consumo de energia, mas também prolonga a vida útil dos compressores ao prevenir períodos prolongados de inatividade que podem resultar em falhas operacionais durante situações de emergência. Outro ponto a se destacar é que em caso de falhas e consequente aumento de temperatura, o sistema de automação aciona todos os aparelhos para funcionar em modo de máximo resfriamento para conter a elevação térmica.

De acordo com Qiang Liu et al. (2016), destaca-se a importância da economia de energia em sistemas de Data Center, abordando técnicas para controle e gerenciamento baseados em computação em nuvem. Svetozar, Rumen e Zlatolilia (2018) discutem a inclusão de dispositivos IoT para controle inteligente de aparelhos de ar condicionado, armazenando dados históricos, analisando estatísticas e realizando correções automatizadas no controle dos equipamentos.

Este estudo analisa um sistema automatizado para o controle de dois aparelhos de ar condicionado com capacidades de refrigeração diferentes em um datacenter. Utilizando sensores de temperatura NTC para monitoramento preciso e emissores infravermelhos para ativação dos equipamentos, juntamente com sensores de corrente não invasivos para determinar o estado de operação, o sistema gera redução no consumo de energia e maior confiabilidade do sistema de refrigeração.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os equipamentos e materiais utilizados no desenvolvimento do sistema estão listados na Tabela 1. Entre eles, inclui-se uma central de automação que funciona como controlador para gerenciar as informações de entrada, como os termistores NTC e os sensores de corrente não invasivos, além de realizar o controle de saída para a emissão de comandos infravermelhos.

O diagrama de funcionamento do sistema, apresentado na Figura 1, inicia-se com a verificação da ativação do sistema de automação. Essa verificação é crucial, pois permite a desativação do sistema para realizações de manutenções, garantindo a segurança e a funcionalidade

do processo. Uma vez que o sistema está ativo, inicia-se a leitura dos sensores NTC 1 e NTC 2. Os valores lidos dos sensores são então escalados por proporcional, com o Sensor NTC 1 e NTC 2 tendo seus valores ajustados de 17000 a 50497 para uma faixa de 90 a 458.

Após a escala dos valores, é calculada a média dos dados dos dois sensores NTC. Para garantir a estabilidade e reduzir oscilações, essa média é acumulada por 10 segundos, resultando em uma atualização do valor de temperatura a cada 10 segundos.

TABELA 1. Lista de materiais utilizados.

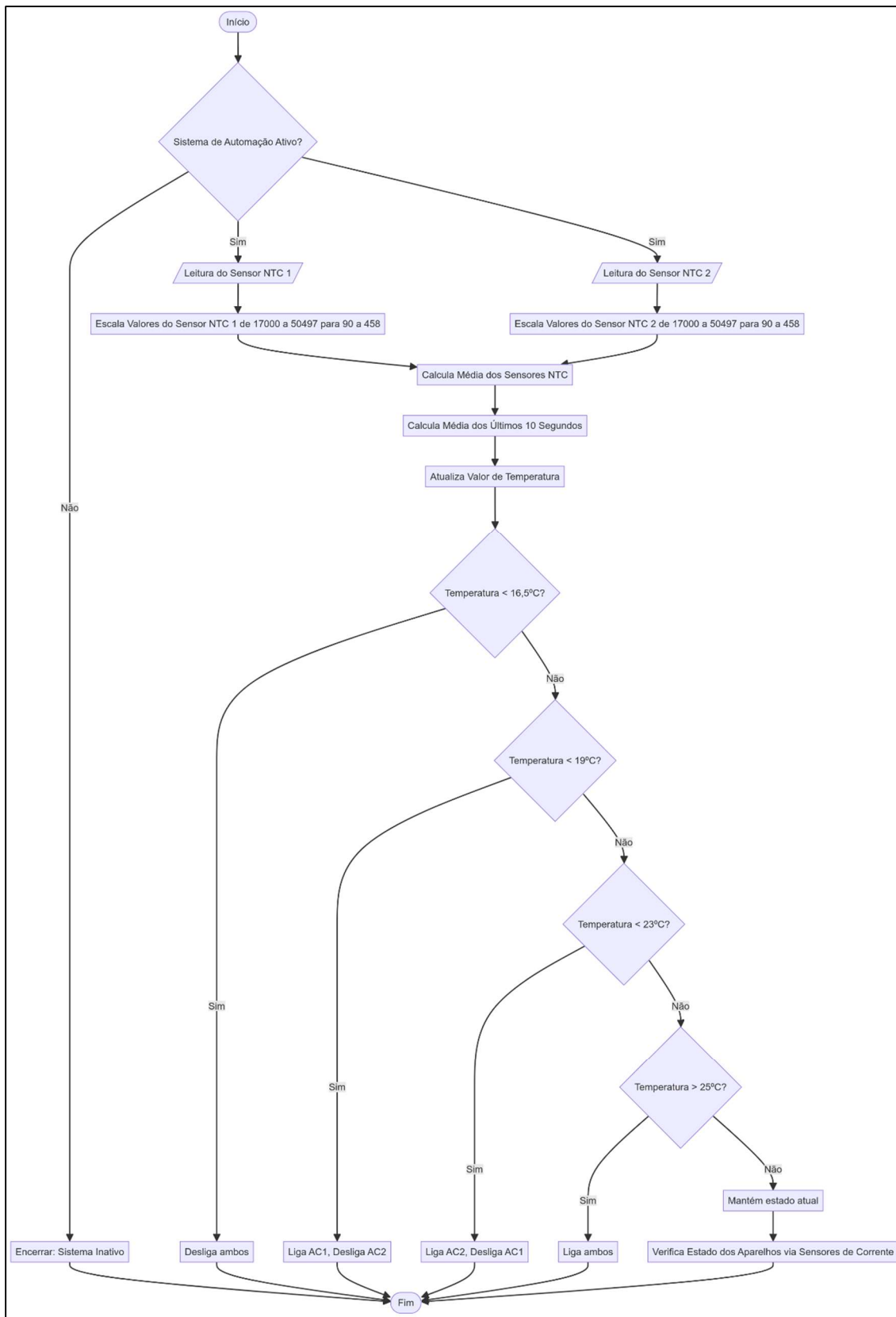
Equipamento / Material	Principais Características	Quantidade
Ar-condicionado	35.000 BTU/h, fabricante Springer	01
Ar-condicionado	48.000 BTU/h, fabricante Admiral	01
Sensor de Temperatura	Tipo NTC de 100 kΩ	02
Sensor de corrente	10 A/1V não invasivo	02
Central de automação	Crestron DIN-AP2	01
Emissor infravermelho	Crestron IRP2 para envio de comandos IR	02
Cabo	FTP Furukawa CAT6 blindado	-
Fonte de alimentação	24 V / 10 A	01
Quadro de montagem	40x30x15cm de sobrepor	01
Disjuntores	40 A Curva D, fabricante WEG	02
Contator trifásico	40 A com relé Térmico, fabricante WEG.	02
Cabeamentos, terminais, e canaletas de recorte aberto.	-	-
Resistores, capacitores elet., diodos de silício.	-	-

Fonte: Autor.

O controle da temperatura começa com a verificação se a temperatura média é inferior a 16,5°C. Caso seja, ambos os aparelhos de ar condicionado são desligados. Se a temperatura estiver entre 16,5°C e 19°C, o aparelho de ar condicionado AC1 é ligado, enquanto o AC2 permanece desligado. Para temperaturas entre 19°C e 23°C, o AC2 é ligado e o AC1 é desligado. Se a temperatura média ultrapassar 25°C, ambos os aparelhos são ligados. Essa lógica de comparação é cíclica e continua.

O estado dos aparelhos de ar condicionado é verificado através dos sensores de corrente não invasivos, assegurando que os comandos de controle foram executados corretamente. Esse método garante a precisão e eficiência do sistema de automação, ajustando o ambiente conforme as condições de temperatura detectadas pelos sensores. A Figura 1 ilustra detalhadamente esse processo, oferecendo uma visão clara das etapas e das decisões tomadas pelo sistema.

FIGURA 1. Fluxograma de funcionamento.



Fonte: Autor.

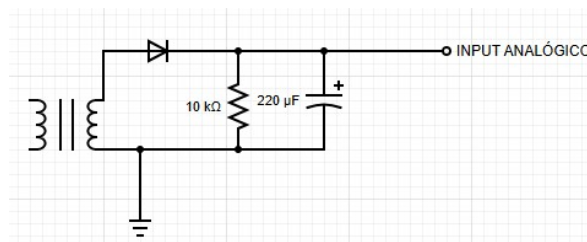
2.1. Leituras dos estados de ligado/desligado

A detecção do estado de funcionamento é realizada por meio de um sensor de corrente não invasivo. Este sensor é um transformador de corrente acoplado ao cabo elétrico condutor que alimenta o compressor, com uma relação de 10 A/1 V. Quando o cabo condutor possui uma corrente elétrica, ele gera um campo eletromagnético ao seu redor. Esse campo é acoplado magneticamente ao enrolamento do sensor, o que gera uma tensão proporcional ao campo nos seus terminais.

O input analógico que receberá o sinal do sensor de corrente pode receber sinais de tensão de 0 a 10 V, com uma resolução de 32 bits, que corresponde ao valor de 0 a 65.535 em decimal. Devido a entrada analógica da central de automação só receber sinais positivos, foi necessário a inclusão de um diodo de silício em série com o secundário do sensor para retificar o sinal alternado, e manter somente os ciclos positivos, realizando uma transformação de tensão alternada para continua pulsante. Outros itens necessários para o condicionamento do sinal são as inclusões de um resistor de 10 k Ω e um capacitor eletrolítico de 220 μ F 25 V em paralelo com o secundário do transformador para dissipar a energia acumulada em forma de campo magnético e realizar um filtro aumentando a tensão média eficaz de saída. O circuito descrito está apresentado na Figura 2.

Foi estabelecido um valor de referência para determinar o status de ligado ou desligado, foi considerado que o compressor está ligado caso o sinal recebido seja maior que 20 em decimal ou 0,003052 V. Este valor foi determinado por testes de funcionamento e considerando a queda de tensão de 0,7 V do diodo de silício.

FIGURA 2. Diagrama de montagem do circuito para detecção de corrente.



Fonte: Autor.

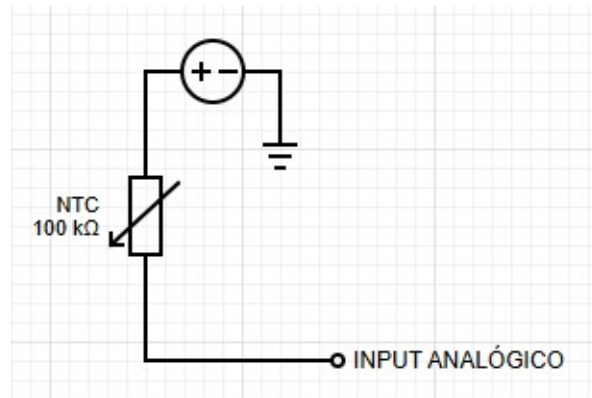
2.1.1. Leitura das temperaturas através de Termistor NTC 100 k Ω

A leitura de temperatura foi realizada por meio de um termistor do tipo NTC, onde sua resistência diminui com o aumento da temperatura. No datacenter foram utilizados dois sensores para garantir maior segurança ao sistema de controle.

Estes sensores possuem dois terminais, o primeiro terminal será conectado a uma fonte de tensão de 24 V e o outro terminal será conectado a um dos inputs analógicos para realizar medições de tensão resultante após a queda de tensão gerada pelo termistor, conforme apresenta a Figura 3.

Outra técnica que será utilizada, será a habilitação de um resistor de 2 kΩ interno ao controlador com função de pull-down, se tornando um divisor de tensão junto ao termistor.

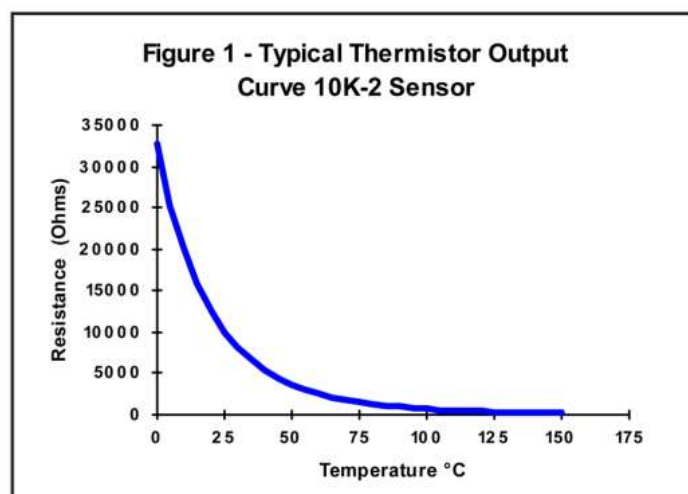
FIGURA 3. Diagrama de conexão externo do termistor.



Fonte: Autor.

A escala de input analógico da central de automação pode receber sinais de 0 a 10 V, com resolução de 32 bits. O condicionamento do sinal será feito através de uma porta lógica Analog Scaler with I/O Limits, Com as entradas de sinal de 17.000 a 50497 em decimal, e as saídas com valor de 90d correspondente a 9,0°C e 458d correspondente a 45,8°C conforme ilustrado na Figura 5. Estes valores foram definidos de acordo com a temperatura mínima e máxima de funcionamento do ambiente. Os valores de proporção foram definidos de acordo com as curvas de resistência por temperatura, abaixo segue Figura 4 e Tabela 2 com valores característicos.

FIGURA 4. Curva típica do termistor.



Fonte: https://www.bapihvac.com/wp-content/uploads/2010/11/Thermistor_100K.pdf

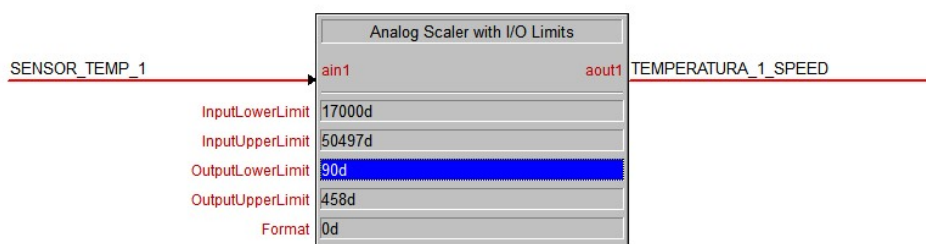
(2012).

TABELA 2. Tabela com valores de resistência por temperatura.

100K Thermistor Output Table								
°F	°C	Ohms	°F	°C	Ohms	°F	°C	Ohms
-39	-39.44	3916295	37	2.78	302466	113	45.00	41303
-37	-38.33	3627711	39	3.89	285206	115	46.11	39434
-35	-37.22	3362274	41	5.00	269035	117	47.22	37660
-33	-36.11	3117987	43	6.11	253877	119	48.33	35976
-31	-35.00	2893035	45	7.22	239664	121	49.44	34376
-29	-33.89	2685770	47	8.33	226331	123	50.56	32843
-27	-32.78	2494694	49	9.44	213819	125	51.67	31399
-25	-31.67	2318444	51	10.56	201971	127	52.78	30027
-23	-30.56	2155781	53	11.67	190946	129	53.89	28722
-21	-29.44	2004274	55	12.78	180588	131	55.00	27481
-19	-28.33	1865595	57	13.89	170853	133	56.11	26300
-17	-27.22	1737397	59	15.00	161700	135	57.22	25177
-15	-26.11	1618827	61	16.11	153092	137	58.33	24107
-13	-25.00	1509102	63	17.22	144992	139	59.44	23089
-11	-23.89	1407512	65	18.33	137367	141	60.56	22111
-9	-22.78	1313405	67	19.44	130189	143	61.67	21188
-7	-21.67	1226184	69	20.56	123368	145	62.78	20308
-5	-20.56	1145306	71	21.67	117000	147	63.89	19469
-3	-19.44	1069620	73	22.78	110998	149	65.00	18670
-1	-18.33	1000019	75	23.89	105338	151	66.11	17907
1	-17.22	935383	77	25.00	100000	153	67.22	17180
3	-16.11	875329	79	26.11	94963	155	68.33	16486
5	-15.00	819505	81	27.22	90208	157	69.44	15824
7	-13.89	767589	83	28.33	85719	159	70.56	15187
9	-12.78	719284	85	29.44	81479	161	71.67	14584
11	-11.67	674319	87	30.56	77438	163	72.78	14008
13	-10.56	632442	89	31.67	73654	165	73.89	13458
15	-9.44	593086	91	32.78	70076	167	75.00	12932
17	-8.33	556739	93	33.89	66692	169	76.11	12430
19	-7.22	522842	95	35.00	63491	171	77.22	11949
21	-6.11	491217	97	36.11	60461	173	78.33	11490
23	-5.00	461699	99	37.22	57594	175	79.44	11051
25	-3.89	434134	101	38.33	54878	177	80.56	10627
27	-2.78	408383	103	39.44	52306	179	81.67	10225
29	-1.67	384316	105	40.56	49847	181	82.78	9841
31	-0.56	361813	107	41.67	47538	183	83.89	9473
33	0.56	340581	109	42.78	45349	185	85.00	9121
35	1.67	320895	111	43.89	43273	187	86.11	8783

Fonte: https://www.bapihvac.com/wp-content/uploads/2010/11/Thermistor_100K.pdf
(2012).

FIGURA 5. Conversão de sinais decimais de entrada e saída.



Fonte: Autor.

2.1.2. Envio de sinais infravermelhos para controle dos aparelhos de ar condicionado.

O acionamento para ligar e desligar os aparelhos de ar condicionado será feito através de emissores infravermelho, simulando a função do controle remoto convencional. A central de automação possui 4 saídas para infravermelho, e serão enviados dois tipos de comandos discretos para cada aparelho, um comando de LIGAR em 17°C e com FAN em velocidade 3, e o outro comando será de DESLIGAR. Estes comandos serão acionados de acordo com os setpoints definidos. Cada comando possui um código em hexadecimal correspondente para os aparelho de ar condicionado.

2.1.3. Tabela com Setpoint para controle.

Como regra para funcionamento dos dois aparelhos de ar condicionado, foram definidos valores de setpoint para o sistema de controle, e quando a média dos dois sensores de temperatura e dos últimos 10 segundos atingissem os valores definidos, o sistema de controle de automação envia os comandos para ambos os aparelhos e verifica o status de ligado/desligado através dos sensores de corrente não invasivos. A Tabela 3 demonstra os valores escolhidos e condições de controle para cada equipamento.

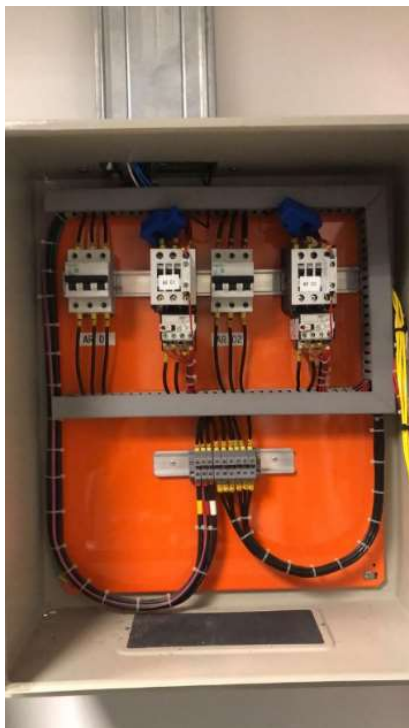
TABELA 3. Tabela de setpoint e condições para os aparelhos de ar condicionado.

TABELA DE SETPOINT		
TEMPERATURA	AR COND. 35.000 BTU/h	AR COND. 48.000 BTU/h
> 25°C	LIGADO	LIGADO
> 23°C	DESLIGADO	LIGADO
< 19°C	LIGADO	DESLIGADO
< 16,5°C	DESLIGADO	DESLIGADO

Fonte: Autor.

A montagem do sistema para obtenção das análises e controle, foi desenvolvida em dois quadros de montagem separados, o primeiro apresentado na Figura 6 demonstra o quadro de força dos aparelhos de ar condicionado com a inclusão dos sensores de corrente não invasivo, e o segundo da Figura 7 apresenta a montagem do quadro de controle, que inclui central de automação para controle do sistema. O Ar condicionado 1 que possui menor potência e marca Admiral é mostrado na Figura 8 e o ar condicionado 2 de marca Springer Silvermaxi na figura 9.

FIGURA 6. Quadro de força dos aparelhos de ar condicionado com sensores de corrente.



Fonte: Autor.

FIGURA 7. Quadro de controle com central de automação



Fonte: Autor.

FIGURA 8. Ar condicionado 1 de potência 35.000 BTU



Fonte: Autor.

FIGURA 9. Ar condicionado 2 de potência 48.000 BTU



Fonte: Autor.

3. Resultados

Antes da implementação do controle de automação, o datacenter utilizava apenas o ar condicionado de maior potência, e, em caso de falhas, recorria ao outro aparelho. Isso resultava em um alto consumo de energia e no risco do ar condicionado de backup não estar em condições operacionais em caso de falha do principal. Com o controle de automação, foi possível alcançar uma proporção de 6,53 na utilização do ar condicionado de menor potência em relação ao de maior potência, mantendo ambos os aparelhos sempre em funcionamento.

Conforme destacado na Figura 10, em um dos dias analisados, o ar condicionado de menor potência conseguiu manter a temperatura ideal interna sem a necessidade de intervenção e troca para o outro equipamento durante um longo período. A Tabela 4 apresenta dados do Inmet das datas de 27 e 28 de março de 2024, com a temperatura e umidade ambiente do dia e horários em que houve essa maior utilização do aparelho de menor potência. Analisando a temperatura e umidade ambiente externa, é possível perceber que os fatores climáticos influenciaram para que o equipamento de menor potência pudesse ficar mais tempo ativo e mantendo o ambiente interno

dentro do ideal, a temperatura e a umidade baixas favoreceram uma maior facilidade de troca de calor do condensador com o ambiente.

É importante destacar que o compressor, por se tratar de um motor assíncrono com um circuito acoplado magneticamente, durante seu período transitório, quando o equipamento é inicialmente energizado, ocorre um pico de corrente denominado corrente de INRUSH. Esse pico de corrente durante a partida dura aproximadamente 100ms, ou 6 ciclos (frequência da rede de 60 Hz) e deve ser levada em consideração para análise de potência consumida. A medição de corrente em uma das fases do ar condicionado de menor potência foi de 14,8A, enquanto no de maior potência foi de 22,4 A. As potências aparentes foram de 6.512 Wh e 9.856 Wh, respectivamente, e considerando um fator de potência de 0,9, a potência eficaz foi de aproximadamente 5.860 Wh e 8.870 Wh.

TABELA 4. Tabela com dados do Inmet do período em que o aparelho de menor potência ficou em funcionamento por maior tempo sem necessidade de auxílio.

Data	Hora UTC	PRECIPITAÇÃO HORÁRIO (mm)	RADIACAO GLOBAL (kj/m²)	TEMPERATURA MÁXIMA NA HORA ANT. (AUT) (°C)	TEMPERATURA MÍNIMA NA HORA ANT. (AUT) (°C)	UMIDADE RELATIVA DO AR, HORARIA (%)
27/03/2024	1700 UTC	0	1801	27	25,1	68
27/03/2024	1800 UTC	0	2346,2	28,4	26,2	55
27/03/2024	1900 UTC	0	1836,7	28,4	25,7	64
27/03/2024	2000 UTC	0	510,1	26,3	25,2	65
27/03/2024	2100 UTC	0	125,2	25,4	24,1	68
27/03/2024	2200 UTC	0		24,3	23,6	72
27/03/2024	2300 UTC	0		23,7	23	73
28/03/2024	0000 UTC	0		23,3	22,7	74
28/03/2024	0100 UTC	0		22,9	22,3	75
28/03/2024	0200 UTC	0		22,7	22,2	76
28/03/2024	0300 UTC	0		22,3	21,7	78
28/03/2024	0400 UTC	0		21,9	21,5	80
28/03/2024	0500 UTC	0		21,7	21,3	83
28/03/2024	0600 UTC	0		21,5	21	82
28/03/2024	0700 UTC	0		21,4	21,2	83
28/03/2024	0800 UTC	0		21,3	21	83
28/03/2024	0900 UTC	0		21,3	21	82
28/03/2024	1000 UTC	0	41,2	21,3	21,1	84
28/03/2024	1100 UTC	0	151,4	21,2	20,6	87
28/03/2024	1200 UTC	0	578,5	22	20,9	85

Fonte: <https://portal.inmet.gov.br/uploads/dadoshistoricos/2024.zip>.

FIGURA 9. Gráfico com temperaturas internas do Datacenter e de status dos aparelhos de ar condicionado no período de predominância do ar condicionado de menor potência.



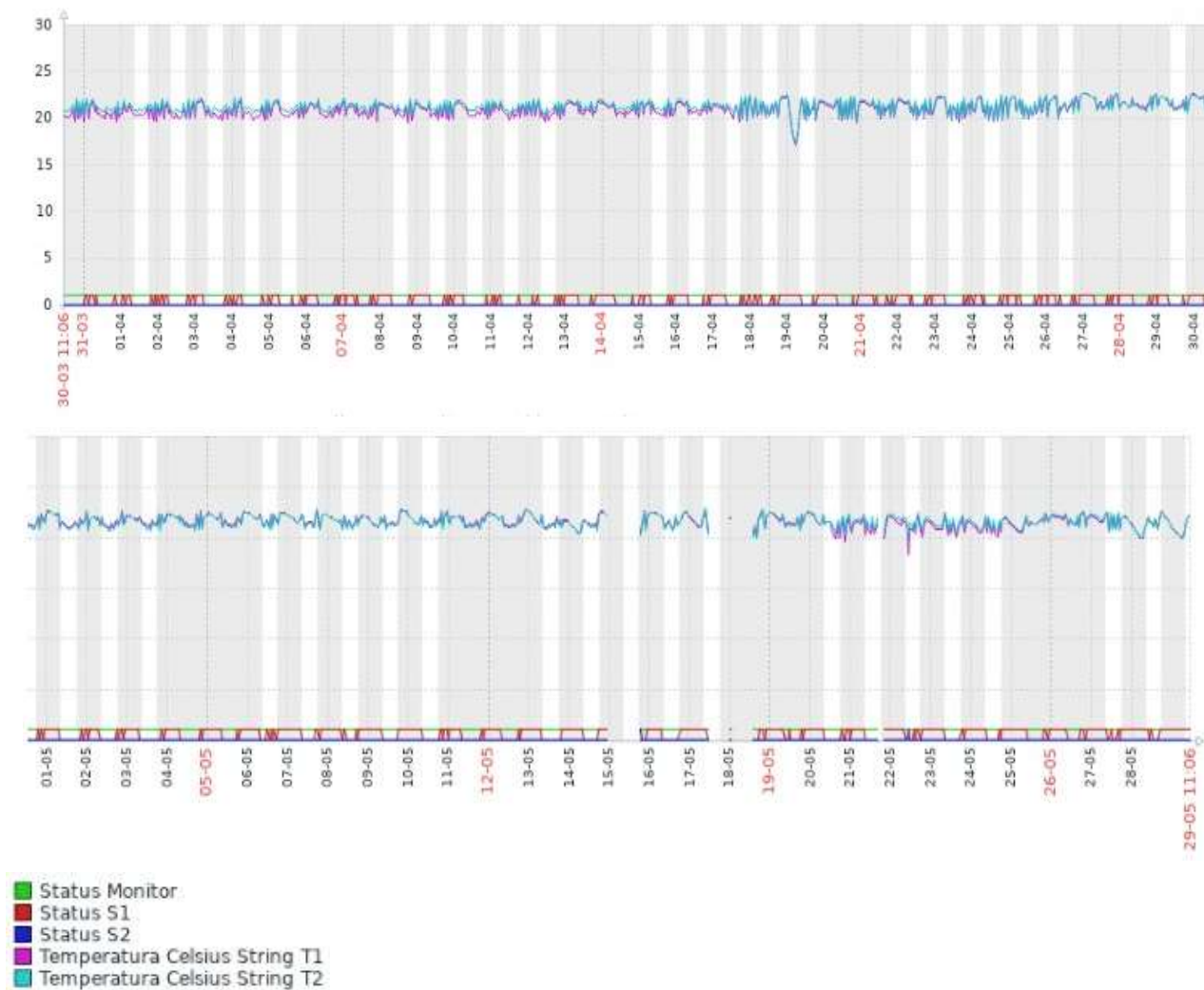
Fonte: Autor.

Foram analisados 60 dias corridos de dados, demonstrando uma grande atividade do equipamento de menor potência, com uma proporção de 6,53 mais ativo do que o de maior potência. Nestes 60 dias o consumo do equipamento de menor potência foi de 5.961,10 kWh e o de maior potência foi de 5.161,60 kWh. Com os dados, conseguimos avaliar o período em que cada aparelho esteve em funcionamento e identificar as variações de temperaturas lidas pelos sensores de temperatura NTC e pelo sensor inserido diretamente próximo à fonte geradora de calor (Termômetro_DC). Estes dados foram gerados através da central de automação e enviados para um servidor com comunicação via SNMP (protocolo padrão para monitoramento e gerenciamento de redes), onde ficam armazenadas para tratamento dos dados, apresentação e análise dos resultados. A Figura 10 traz vários dados interessantes para o entendimento do sistema, mostrando as variações de temperatura e o momento em que cada aparelho está ligado ou desligado.

Através do gráfico é possível identificar o tempo de decaimento e de elevação da temperatura no ambiente de acordo com o equipamento de ar condicionado que esteja em funcionamento. Os dados gerados são passíveis de análise para identificar possíveis reduções de eficiência nos equipamentos de refrigeração, permitindo a previsão de intervenções de manutenção preventiva ou corretiva, conforme os tempos de decaimento e elevação das curvas de temperatura, até alcançar os pontos de referência inferior e superior.

Essa abordagem proativa baseia-se na observação cuidadosa dos padrões de desempenho ao longo do tempo, proporcionando uma gestão mais eficiente e econômica dos sistemas de refrigeração.

FIGURA 10. Gráfico de indicadores de 60 dias, do dia 30/03/2024 até o dia 29/05/2024.



Fonte: Autor.

4. CONCLUSÕES

A implementação de um sistema de automação que alterna o funcionamento de aparelhos de ar condicionado com diferentes capacidades resultou em economias significativas de energia e eficiência operacional. Durante a análise dos 60 dias, a potência total consumida por ambos os aparelhos com o processo de alternância foi de 11.122,70 kWh. Antes da inclusão do controle, apenas o equipamento de maior potência operava, resultando em um consumo de 14.192,64 kWh no mesmo período. O controle proporcionou uma economia de 3.069,94 kWh, o que corresponde a

21,63%. Este sistema também prolonga a vida útil dos equipamentos, evitando desgaste prematuro, demonstrando ser uma solução viável para data centers e outras instalações que requerem controle rigoroso de temperatura. Com o controle é possível em uma situação crítica forçar os dois aparelhos a funcionarem de forma simultânea e automática. Antes da implementação o ar condicionado de maior potência funcionava sempre em sua temperatura mínima, de forma que o compressor ficasse sempre em funcionamento, com o novo modelo teve uma significativa redução. Destaca-se também a possibilidade de realização de manutenções preventivas ou corretivas, que podem ser analisadas através dos dados obtidos e dos gráficos gerados.

REFERÊNCIAS

BAPI HVAC. Thermistor 100K. Disponível em: <https://www.bapihvac.com/wp-content/uploads/2010/11/Thermistor_100K.pdf>. Acesso em: 10 julho 2024.

INMET. Dados históricos de 2024. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/uploads/dadoshistoricos/2024.zip>>. Acesso em: 7 julho 2024.

TAHERI, Saman; HOSSEINI, Paniz; RAZBAN, Ali. Model predictive control of heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems: A state-of-the-art review. *Journal of Building Engineering*, v. 60, p. 105067, 2022.

YANG, Zheng; GHAMRANI, Ali; BECERIK-GERBER, Burcin. Building occupancy diversity and HVAC (heating, ventilation, and air conditioning) system energy efficiency. *Energy*, v. 109, p. 641-649, 2016.

WANG, Yong et al. Design configuration for a higher efficiency air conditioning system in large space building. *Energy and Buildings*, v. 72, p. 167-176, 2014.

LIU, Qiang et al. Energy efficiency evaluation of data centers and cloud computing: Building a cross-layer solution. *Journal of Cloud Computing: Advances, Systems and Applications*, v. 5, n. 1, 2016.

ILCHEV, Svetozar; ANDREEV, Rumen; ILCHEVA, Zlatoliliya. Heterogeneous IoT platform for device management and environmental sensor data gathering. *Serdica Journal of Computing*, v. 12, n. 1-2, p. 23-45, 2018.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.