



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Renan Bottacine Amed Deud

Automatização e monitoramento remoto de sistema climatizado em data center

Vitória, ES

2022

Renan Bottacine Amed Deud

Automatização e monitoramento remoto de sistema climatizado em data center

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Computação do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia de Computação.

Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

Centro Tecnológico

Colegiado do Curso de Engenharia de Computação

Orientador: Prof. Dr. Vinícius Fernandes Soares Mota

Coorientador: Msc. Víctor Manuel García Martínez

Vitória, ES

2022

Renan Bottacine Amed Deud

Automatização e monitoramento remoto de sistema climatizado em data center/
Renan Bottacine Amed Deud. – Vitória, ES, 2022-
44 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Vinícius Fernandes Soares Mota

Monografia (PG) – Universidade Federal do Espírito Santo – UFES
Centro Tecnológico
Colegiado do Curso de Engenharia de Computação, 2022.

1. Palavra-chave1. 2. Palavra-chave2. I. Mota, Vinícius Fernandes Soares. II.
Universidade Federal do Espírito Santo. IV. Automatização e monitoramento
remoto de sistema climatizado em data center

CDU 02:141:005.7

Renan Bottacine Amed Deud

Automatização e monitoramento remoto de sistema climatizado em data center

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Computação do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia de Computação.

Trabalho aprovado. Vitória, ES, 12 de Agosto de 2022:

**Prof. Dr. Vinícius Fernandes Soares
Mota**
Orientador

Msc. Víctor Manuel García Martínez
Coorientador

Prof. Dr. Rodolfo da Silva Villaça
Convidado 1

Prof. Dr. Ricardo Carminati de Mello
Convidado 2

Vitória, ES
2022

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus pela saúde, sabedoria e capacidade de chegar até aqui.

Aos meus pais por todo o apoio, carinho e incentivo. Sempre lembrarei de tudo que fizeram por mim.

Aos amigos do PoP-ES, agradeço pelo incentivo e pela disponibilidade em ajudar durante os experimentos que lá realizei.

Aos professores, pela experiência e conhecimento compartilhado, em especial meus orientadores.

Aos meus amigos do curso pela convivência e bons momentos ao longo dos períodos.

A todos os meus familiares, amigos próximos e ao meu irmão pelo carinho e incentivo.

“Entrega o teu caminho ao Senhor, confia nele, e o mais ele fará.”

Salmos 37:5

Resumo

O data center do PoP-ES (Ponto de presença da Rede Nacional de Ensino e Pesquisa no Espírito Santo) é equipado com aparelhos de ar condicionado, nobreaks e racks que acondicionam equipamentos de rede como servidores, switches e roteadores. Embora os aparelhos de ar-condicionado sejam eficientes em manter a temperatura do ambiente de operação em níveis aceitáveis, não possuem qualquer tipo de gerenciamento de forma que não é possível saber do estado de operação desses aparelhos. Periodicamente, é feita a tomada de decisão de forma manual, de quais aparelhos de ar condicionado devem estar ligados no data center, desligando-se um aparelho por vez a cada semana, a fim de aumentar sua longevidade e manter a refrigeração. Para automatizar tal processo, foi desenvolvido um protótipo que atua remotamente no acionamento dos aparelhos de ar condicionado, capaz de atuar em um cenário de aumento de temperatura e integrado ao sistema de monitoramento de redes do PoP-ES. O prototipo foi integrado ao sistema de monitoramento de ativos da rede, utilizando o protocolo SNMP. Por meio desta integração, foi possível ligar ou desligar aparelhos de ar condicionado remotamente e configurar gatilhos no sistema de monitoramento, de forma que os aparelhos de ar-condicionado sejam ligados quando o ambiente do datacenter atingir determinado limiar de temperatura. Por fim, foi avaliado o monitoramento de temperatura no ambiente do datacenter, o funcionamento do dispositivo desenvolvido no ambiente de produção e o consumo energético teórico de cada aparelho de ar-condicionado.

Palavras-chaves: Internet das Coisas, ESP8266, SNMP, Monitoramento de redes.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Refrigeração por piso elevado	18
Figura 2 – Arquitetura SNMP	21
Figura 3 – Estrutura Pandora	22
Figura 4 – ESP8266 12E NodeMCU	25
Figura 5 – Ambiente físico do datacenter	27
Figura 6 – Esquemático conexões entre ESP8266 12E NodeMCU e receptor infra- vermelho	29
Figura 7 – Esquemático conexões entre ESP8266 12E NodeMCU e emissor infra- vermelho	30
Figura 8 – Topologia lógica	31
Figura 9 – Dispositivo desenvolvido	33
Figura 10 – Agente Pandora FMS	34
Figura 11 – Módulo do tipo plugin server Pandora FMS	34
Figura 12 – Módulo do tipo network server Pandora FMS	35
Figura 13 – Rodízio aparelhos ar-condicionado	35
Figura 14 – Oscilação temperatura média	37
Figura 15 – Trigger por aumento de temperatura no datacenter.	38
Figura 16 – Consumo de rede ao longo de um dia	40

Lista de tabelas

Tabela 1 – Consumo de corrente ESP8266	25
Tabela 2 – Funções realizadas pelo dispositivo ao receber determinado valor via SNMP	31
Tabela 3 – Levantamento de informações aparelho ar-condicionado	40

Lista de abreviaturas e siglas

IoT	<i>Internet of Things</i>
RNP	Rede Nacional de Ensino e Pesquisa
PoP-ES	Ponto de presença da Rede Nacional de Ensino e Pesquisa no Espírito Santo
FMS	<i>Flexible Monitoring System</i>
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i>
ISO	<i>International Organization of Standard</i>
UPS	<i>Uninterruptable Power Supply)</i>
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers</i>
CRAC	<i>Computer Room Air Conditioning</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
OID	<i>Object Identifier</i>
MIB	<i>Management Information Base</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
ICMP	<i>Internet Control Message Protocol</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
NFC	<i>Near Field Communication</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
FPGA	<i>Field-Programmable Gate Array</i>
RDF	<i>Resource Description Framework</i>

OWL	<i>Ontology Web Language</i>
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
SRAM	<i>Static Random Access Memory</i>
RFC	<i>Request for Comments</i>

Sumário

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Motivação e Justificativa	13
1.2	Objetivos	14
1.2.1	Objetivo Geral	14
1.2.2	Objetivos Específicos	14
1.3	Método de Desenvolvimento do Trabalho	15
1.4	Organização da Monografia	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO E TECNOLOGIAS UTILIZADAS	16
2.1	Data centers	16
2.2	Gestão térmica	17
2.3	Gerenciamento de redes	18
2.3.1	Protocolo SNMP	19
2.3.1.1	Arquitetura do SNMP	20
2.3.1.2	Uso do SNMP	21
2.4	Pandora FMS	22
2.5	Elementos da IoT	23
2.6	Arquitetura para IoT	24
2.7	Dispositivo	25
2.7.1	NodeMCU	25
2.8	Trabalhos relacionados	26
3	DESENVOLVIMENTO, MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1	Ambiente físico do datacenter	27
3.2	Materiais	27
3.3	Desenvolvimento	28
3.4	Métodos	30
3.4.1	Topologia lógica	30
3.4.2	Funcionamento do dispositivo	31
3.4.3	Softwares Utilizados	31
3.4.4	Bibliotecas Utilizadas	31
3.4.5	Experimentos e testes	32
3.4.6	Implementação	33
3.4.7	Consumo energético teórico	35
4	AValiação da Proposta	37

4.1	Monitoramento	37
4.2	Protótipo em uso	38
4.3	Consumo de rede	39
4.4	Consumo energético teórico	40
5	CONCLUSÃO	41
5.1	Considerações Finais	41
5.2	Limitações	41
5.3	Trabalhos Futuros	42
5.4	Material Complementar	42
	REFERÊNCIAS	43

1 Introdução

Data center é o ambiente onde são abrigados os equipamentos que realizam o processamento e armazenamento de dados das organizações. Seu principal objetivo é manter computadores e equipamentos com total disponibilidade e segurança. Sua importância se dá por abrigar informações fundamentais para a operação de diversos tipos de organizações.

A gestão térmica de data center é fundamental para o seu bom funcionamento, uma vez que altas temperaturas podem danificar os servidores e reduzir sua vida útil, por isso se faz necessário que sejam monitorados os sistemas de refrigeração destes ambientes. Neste contexto, é utilizada a Internet das coisas (IoT), por meio de dispositivos que permitam realizar o monitoramento remoto destes sistemas, contribuindo de maneira rápida com informações sobre a ocorrência de problemas.

O ramo de Internet das coisas vem se mostrando importante, ao possibilitar estender o uso da Internet à diversos dispositivos, ao permitir que diferentes objetos se conectem à internet e interajam com ela, possibilitando a captação de informações e seu monitoramento remoto. Seu avanço se popularizou devido a fatores como o maior acesso à sensores e microcontroladores de baixo custo, aumento de disponibilidade de plataformas de computação em nuvem e os avanços nas técnicas de aprendizado de máquina aliado ao acesso de grandes quantidades de dados armazenados na nuvem.

Nas indústrias, a IoT tem ajudado a identificar problemas e corrigí-los, como por exemplo o monitoramento remoto de sistemas climatizados de data center por sensores de temperatura e umidade, ao detectar um possível superaquecimento de hardware, que se não identificado, pode impactar o funcionamento da empresa. Diante disso, este trabalho propõe um sistema de IoT que busca prover automatização e monitoramento remoto de sistema climatizado em um ambiente de data center, por meio do desenvolvimento de um dispositivo capaz de atuar sobre os aparelhos de ar condicionado e sua integração com um sistema de monitoramento de redes.

1.1 Motivação e Justificativa

É necessário preservar a integridade física do ambiente de um data center, uma vez que os equipamentos são caros e a perda de dados pode causar grandes prejuízos aos seus detentores. Para isso é preciso de um sistema que permita o monitoramento de características como umidade e temperatura, a fim de garantir uma condição climática adequada para o bom funcionamento dos equipamentos nestes ambientes.

O Ponto de Presença da Rede Nacional de Ensino e Pesquisa(RNP) no Espírito

Santo (PoP-ES) tem por função manter, operar e coordenar ações na Internet acadêmica no Estado do Espírito Santo, servindo como ponto de acesso das instituições usuárias da RNP ao backbone da Rede Ipê. Além disso, o PoP-ES disponibiliza diversos serviços relacionados à manutenção, à gerência, ao planejamento e ao desenvolvimento de redes avançadas. O data center do PoP-ES é equipado com aparelhos de ar condicionado, nobreaks e racks que acondicionam equipamentos de rede como servidores, switches e roteadores. Embora os aparelhos de ar-condicionado sejam eficientes em manter a temperatura do ambiente de operação em níveis aceitáveis, não possuem qualquer tipo de gerenciamento de forma que não é possível saber do estado de operação desses aparelhos.

Periodicamente, é feita a tomada de decisão de forma manual, de quais aparelhos de ar condicionado devem estar ligados no data center com o rodízio destes equipamentos, em que é desligado um aparelho por vez a cada semana a fim de aumentar sua longevidade e manter a refrigeração. Para automatizar tal processo, foi proposto um protótipo que atue remotamente no acionamento dos aparelhos de ar condicionado, seja capaz de atuar previamente em um cenário de aumento de temperatura e integrado ao sistema de monitoramento de temperatura do PoP-ES.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema IoT que busca prover automatização e monitoramento remoto de sistema climatizado em um ambiente de data center.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Compreender refrigeração de data centers;
- Analisar os sistemas de monitoramento de ambientes climatizados já existentes;
- Desenvolver sistema capaz de interagir com os aparelhos de ar condicionado;
- Integrar o sistema à ferramentas de monitoramento, como o Pandora FMS (*Flexible Monitoring System*);
- Apresentar um protótipo do sistema;
- Implementar e testar o protótipo no datacenter do PoP-ES;
- Avaliar o sistema desenvolvido.

1.3 Método de Desenvolvimento do Trabalho

O procedimento inicial do trabalho é o estudo bibliográfico acerca da gestão térmica de data centers. Em seguida, a compreensão do protocolo *Simple Network Management Protocol* (SNMP), que é o protocolo padrão para monitoramento e gerenciamento de redes. Após este passo, será feito o estudo da ferramenta de monitoramento de redes utilizada pelo PoP-ES Pandora FMS. Posteriormente, será realizado um estudo acerca dos trabalhos disponíveis na literatura que propõem a automatização e monitoramento remoto de sistemas climatizados. E então, desenvolvido um sistema capaz de interagir com os aparelhos de ar condicionado, e realizada sua integração ao Pandora FMS via protocolo SNMP. Por fim, será avaliado o sistema por meio de testes experimentais e análises dos resultados obtidos. O local de realização dos testes é o data center do PoP-ES, onde o sistema será implementado.

1.4 Organização da Monografia

Além desta introdução, esta monografia é composta por outros 4 capítulos:

- O Capítulo 2 apresenta os aspectos relativos ao conteúdo teórico relevante para o trabalho;
- O Capítulo 3 apresenta os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento do trabalho;
- O Capítulo 4 apresenta a avaliação da proposta;
- O Capítulo 5 apresenta as considerações finais do trabalho;

2 Referencial Teórico e Tecnologias Utilizadas

Neste capítulo será abordado data centers, gestão térmica de data centers, bem como tecnologias utilizadas para o desenvolvimento do trabalho, como o SNMP, principal protocolo utilizado para o gerenciamento de redes e a sua arquitetura.

Também será discutido o sistema de monitoramento de redes utilizado pelo PoP-ES, o Pandora FMS. Além disso, serão abordados algumas das principais placas de desenvolvimento usadas em sistemas IoT e trabalhos relacionados que propõem a automatização e monitoramento remoto de sistemas climatizados.

2.1 Data centers

De acordo com Marin em (FILHO, 2016) data centers são ambientes com missão crítica, abrigam equipamentos e sistemas responsáveis pelo processamento e armazenamento de informações cruciais para a operação dos mais diversos tipos de negócios.

Ainda, de acordo com o autor, um data center compreende os seguintes espaços e sistemas:

- Sala de servidores;
- Climatização (ar-condicionado e controle ambiental);
- Distribuição elétrica e UPS (*Uninterruptable Power Supply*);
- Automação do edifício;
- Detecção e supressão de incêndio;
- Segurança e controle;
- Espaços de suporte, entre outros.

Quando se discute sobre ambientes de missão críticas, como data centers, é necessário o entendimento sobre os conceitos de resiliência, tolerância a falhas e disponibilidade. A resiliência é definida como a capacidade de recuperação do *site* ao seu estado original caso sofra uma falha. Tolerância a falhas é a capacidade do data center continuar em operação mesmo na ocorrência de alguma falha. E por fim, disponibilidade é definida pelo o tempo durante o qual determinado sistema está em operação em relação ao tempo em que ele deve estar em operação.

Outro aspecto importante para o bom funcionamento do data center é a redundância de equipamentos, que consiste na repetição de equipamentos vitais que cumprem a mesma função. Caso um deixe de funcionar, o outro assume automaticamente a tarefa. Seu principal objetivo é garantir que não ocorra inatividade do sistema.

A classificação de data centers em níveis (*tiers*) desenvolvida pelo *Uptime Institute*, uma organização norte-americana que classifica a infraestrutura de datacenters, leva em consideração a tolerância a falhas, resiliência e disponibilidade da infraestrutura de data centers (FILHO, 2016). Esta classificação define quatro níveis de disponibilidade para data centers com base nas configurações de suas infraestruturas de distribuição elétrica e climatização, conforme abaixo:

- Tier 1: data center sem componentes redundantes e com um ramo de distribuição elétrica e de climatização para atender os equipamentos críticos de TI;
- Tier 2: data center com componentes redundantes, porém, com um ramo único de distribuição elétrica e de climatização para atender os equipamentos críticos de TI;
- Tier 3: data center com componentes redundantes e vários ramos de distribuição elétrica e climatização em que cada ramo de distribuição elétrica atende a equipamentos críticos de TI individualmente;
- Tier 4: data center com componentes redundantes, vários ramos de distribuição elétrica e climatização, diferente do Tier 3 e dos demais, o data center do Tier 4 requer que todos os equipamentos de TI tenham fontes de alimentação redundantes.

2.2 Gestão térmica

Os data centers precisam de um bom sistema de climatização para manter o funcionamento adequado de seus ativos, uma vez que o calor excessivo pode queimar as máquinas ou simplesmente interromper seu funcionamento, o que causa a falha em serviços que podem ser essenciais para o funcionamento de uma organização.

A ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*) conforme em (ASHRAE, 2021), emite um documento com as diretrizes térmicas para data centers, que auxilia os projetistas, segundo este documento, é permitido que os ambientes de centrais de dados sejam refrigerados por temperaturas entre 15°C e 32°C. Para isto é necessário realizar um monitoramento constante do ambiente e do hardware.

De acordo com o artigo (RAMOS; BIANCHINI, 2008) há duas políticas para realizar o gerenciamento térmico do data center, gerenciar temperaturas sob condições normais de operação ou gerenciar emergências térmicas. A política de gerenciar temperaturas sob condições normais de operação consiste em distribuir cargas de trabalho entre os

servidores para que o consumo de energia seja minimizado. Por sua vez, a política de gerenciar emergências térmicas busca controlar a temperatura dos ambientes evitando a degradação do desempenho, a preocupação é evitar desligar servidores quentes, o que reduz a capacidade de processamento.

Conforme (SCHMIDT; CRUZ; IYENGAR, 2005), nos data centers, os racks são posicionados lado a lado em fileiras. São formados corredores de ar quente e frio. Os racks normalmente contam com resfriamento da parte da frente para trás. Separam parcialmente o ar frio, que sai pelas perfurações do piso elevado, do ar quente, que sai pela parte de trás dos racks.

A disposição dos racks no data center ocorre de forma que a parte da frente fique voltada uma para outra formando o corredor frio. Da mesma forma, se busca que as partes traseiras dos racks fiquem uma de frente para a outra, formando um corredor de ar quente que é dissipado no ambiente ao redor.

Uma estratégia amplamente utilizada para diminuir os custos de climatização é a refrigeração utilizando piso elevado. Nela a unidade de ar condicionado da sala de computador, também conhecida como CRAC (*Computer Room Air Conditioning*), fornece ar frio para o espaço do piso elevado. Então, este ar entra na sala pelas perfurações do piso, passa pela face frontal do rack e o ar quente que sai da parte traseira do rack retorna para a unidade de ar condicionado da sala de computador (Conforme pode ser visto na figura 1).

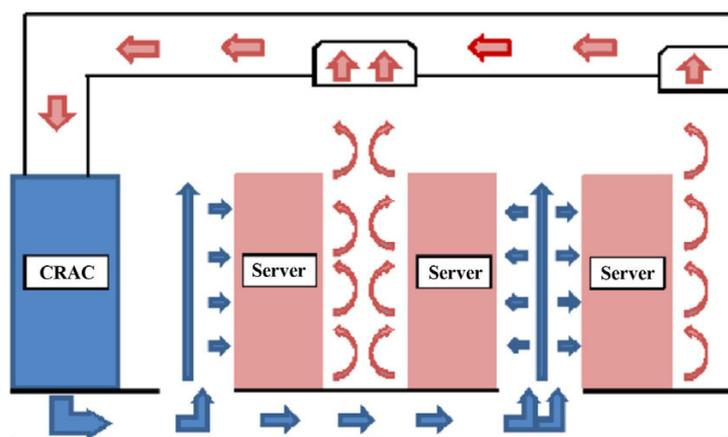


Figura 1 – Refrigeração por piso elevado

Fonte: (PRIYADUMKOL; KITTICHAIKARN, 2014)

2.3 Gerenciamento de redes

O gerenciamento de redes pode ser entendido como um serviço que emprega uma variedade de protocolos, ferramentas, aplicações, e dispositivos para auxiliar os gerentes de rede no monitoramento e controle de recursos da rede, tanto de hardware quanto de

software, para atender às necessidades de serviço e aos objetivos da rede (REN; LI, 2010). Dada a diversidade de elementos gerenciados, como roteadores, *bridges*, *switches* e *hubs*, e a grande variedade de sistemas operacionais e interfaces de programação, um protocolo de gerenciamento é fundamental para a estação de gerenciamento se comunicar com os agentes de gerenciamento de forma eficaz, sendo o SNMP (*Simple Network Management Protocol*) o protocolo mais utilizado.

A *International Organization of Standard* (ISO) criou um modelo de gerenciamento de redes que serve como base para todos os outros modelos (REN; LI, 2010), tal modelo conta com cinco áreas funcionais, conhecido como FCAPS :

- Gerencia de falhas (*Fault Management*): Envolve a detecção, isolamento e correção de problemas de hardware ou software que podem causar a falha da rede. O principal objetivo do gerenciamento de falhas é garantir que a rede esteja sempre disponível e quando ocorra uma falha, ela possa ser corrigida o mais rápido possível.
- Gerência de configuração (*Configuration Management*): Está relacionada com a inicialização de uma rede, provisionando os recursos de rede e serviços, monitoramento e controle. A gerência de configuração inclui definir, manter, adicionar e atualizar a relação entre os componentes e o status dos componentes durante a operação da rede.
- Gerência de Registros (*Accounting Management*): Permite registrar a utilização da rede para contabilizar o uso dos recursos, muito utilizada por provedores de acesso por motivos de tarifação de serviços.
- Gerência de desempenho (*Performance Management*): Tem o objetivo de avaliar e relatar o comportamento dos objetos de rede gerenciados. Um sistema de monitoramento de rede pode medir e exibir o status da rede, bem como coletar as informações estatísticas sobre o volume de tráfego, disponibilidade, tempo de resposta e *throughput*.
- Gerência de segurança (*Security Management*): Protege a rede e sistemas contra acesso não autorizado e ataques de segurança. São utilizados mecanismos como autenticação e criptografia. Se refere a geração, distribuição e armazenamento de chaves de criptografia, bem como outras informações relacionadas à segurança. Pode incluir sistemas de segurança como *firewalls* e sistemas de detecção de intrusão que realizam a monitoramento de eventos em tempo real.

2.3.1 Protocolo SNMP

O SNMP é um protocolo da camada de aplicação, geralmente utiliza dos serviços do protocolo UDP (*User Datagram Protocol*) na camada de transporte para gerenciar

dispositivos que funcionam na pilha TCP/IP (STALLINGS, 2004).

Foi criado com o objetivo de facilitar o monitoramento e gerenciamento de redes. Por meio dele, pode-se realizar a configuração remota dos parâmetros dos dispositivos seja de forma automática em resposta a determinado incidente ou até mesmo de forma manual.

2.3.1.1 Arquitetura do SNMP

De acordo com (STALLINGS, 2004), o SNMP é constituído pelos seguintes componentes: Gerente, Agente, Base de informação de gerenciamento e Protocolo de gerenciamento de rede (Figura 2).

- Gerente: aplicação responsável por obter informações dos dispositivos gerenciados, que recebe ou requisita informações dos agentes que são necessárias para a administração da rede.
- Agente : aplicação executada nos dispositivos a serem gerenciados, como por exemplo roteadores, switches e hosts. É responsável por atender as requisições enviadas pelo gerente e também pode gerar alertas com informações importantes.
- Base de informação de gerenciamento: cada recurso da rede é representado como um objeto, uma variável que representa uma informação do dispositivo gerenciado. Para acessar um objeto utilizamos o identificador de objetos referente a ele, OID (*Object Identifier*). A coleção de objetos é chamada MIB (*Management Information Base*).
- Protocolo de gerenciamento de rede: o gerente e agente são conectados pelo protocolo de gerenciamento de rede, o protocolo utilizado para o gerenciamento de redes TCP/IP é o SNMP. Os recursos principais do SNMP são o GET, SET e o NOTIFY. O GET permite ao gerente obter o valor de um objeto no agente. Por sua vez o SET permite ao gerente alterar o valor de um objeto no agente. E o NOTIFY permite ao agente enviar informações ao gerente sem que as mesmas sejam solicitadas.

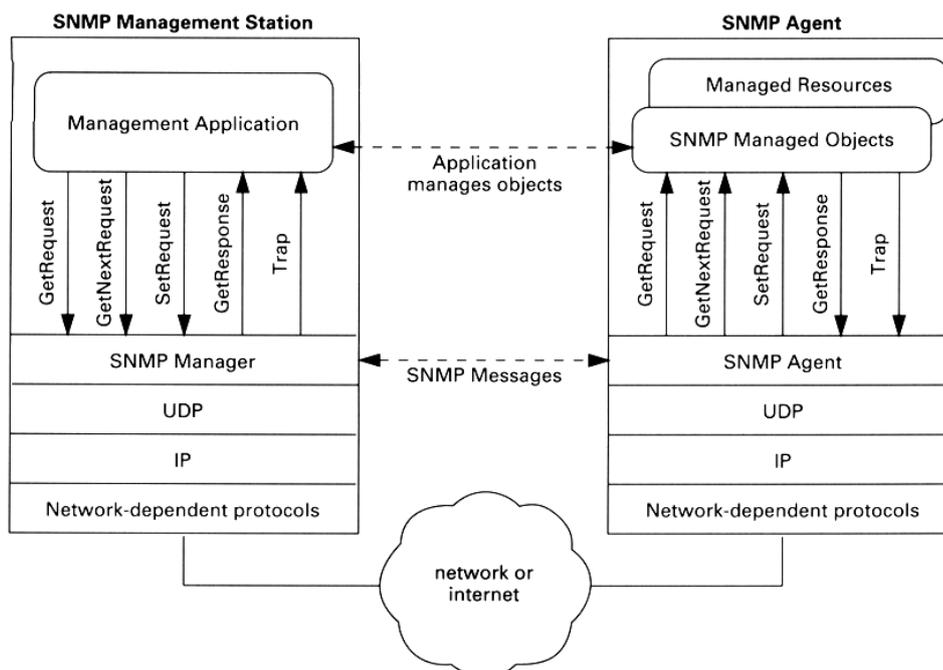


Figura 2 – Arquitetura SNMP

Fonte: <https://homepages.dcc.ufmg.br/~mlbc/cursos/internet/snmp/comunicacao.html>
 Acesso em 10 de Julho de 2022

2.3.1.2 Uso do SNMP

O protocolo tem sido amplamente adotado, fornecedores de diversos dispositivos como *nobreaks* e impressoras disponibilizam agentes SNMP em seus produtos, uma vez que este é o padrão de gerenciamento de rede dominante no mercado.

Também é interessante saber que o protocolo tem uma boa interoperabilidade, uma vez que integra uma grande variedade de dispositivos. Permite que os mais diversos tipos de dispositivos utilizem o protocolo, mesmo tendo pouco poder de processamento, já que a maior parte do processamento ocorre na máquina do gerente. Vale notar que seu projeto é simples, e pode ser rapidamente configurado em uma rede grande.

Um aspecto relevante é que quando utilizado para o gerenciamento de ambientes IoT, em que a memória dos microcontroladores é um recurso escasso, ao se comparar à outros protocolos como o MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*), o SNMP performa melhor em termos de ocupação de memória de seus agentes. Isso se observa no estudo de (MOTA et al., 2018) que analisa o consumo de memória dos principais protocolos de gerenciamento de rede implementados em agentes instalados em dispositivos ESP8266.

2.4 Pandora FMS

O Pandora FMS é um sistema de monitoramento de redes que permite o monitoramento visual de estado e desempenho de parâmetros de diversos dispositivos de rede como servidores, roteadores entre outros (PANDORAFMS, 2022). Possui uma grande flexibilidade por poder ser adaptado à diversos tipos de funções e organizações, permite monitorar uma ampla infraestrutura com sistemas de novas gerações e também sistemas antigos e com pouca compatibilidade.

Além disso, possui uma interface gráfica personalizável onde a topologia da rede é mostrada em detalhes, o que permite que os incidentes sejam identificados de forma rápida e tratados pelos usuários. Apresenta recursos como mecanismo de alerta que permite configurar alertas, suas condições de acionamento e as ações que disparam comandos, como o envio de email ou SMS para o usuário. Também conta com plugins que podem adicionar novas funcionalidades com scripts que recebem parâmetros e executam ações.

Como mostrado na Figura 3, o Pandora FMS tem um servidor central que se comunica com demais dispositivos denominados agentes. Esta comunicação pode ser via ICMP (*Internet Control Message Protocol*) com testes que permitem descobrir se um host está ativo e o tempo que se leva para chegar a ele pela rede. Via TCP (*Transmission Control Protocol*) por testes que verificam se um sistema tem a porta TCP aberta, requisições HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*), como por exemplo para verificar se um servidor HTTP está ativo e via SNMP para obter dados como status da interface e banda de rede consumida por interface de um dispositivo.

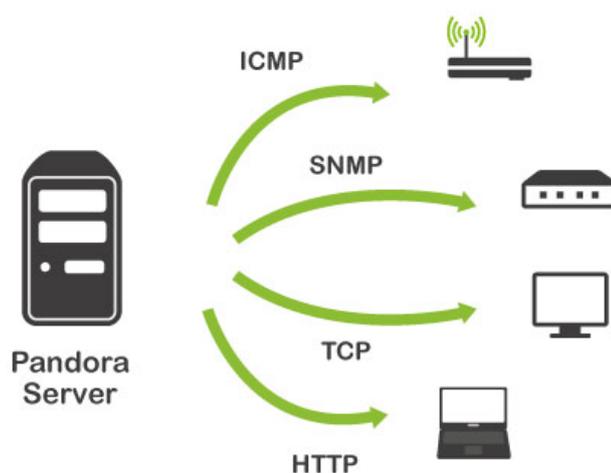


Figura 3 – Estrutura Pandora

Fonte: <https://pandorafms.com/manual/en/documentation/>. Acesso em 19 de Junho de 2022

2.5 Elementos da IoT

De acordo com o estudo de (AL-FUQAHA et al., 2015) a IoT pode ser vista como um conjunto de tecnologias que visam a integração de objetos no ambiente físico ao mundo virtual. É formada por blocos de construção que ajudam a obter uma melhor ideia sobre o significado e funcionalidade da IoT, sendo eles:

- **Identificação:** É importante identificar os objetos unicamente para conectá-los à Internet. A identificação é crucial para nomear e corresponder serviços com a sua demanda. Além disso, endereçar os objetos IoT é crítico para diferenciar o ID do objeto e seu endereço. ID do objeto se refere ao seu nome como “T1” para um sensor de temperatura particular e endereço do objeto, se refere ao seu endereço dentro de uma rede de comunicações. Podem ser empregadas tecnologias como endereçamento IP, NFC (*Near Field Communication*) e RFID (*Radio Frequency Identification*) para identificar os objetos.
- **Sensoriamento:** O sensoriamento em IoT significa coletar dados de objetos dentro da rede e enviá-los para nuvem ou centros de armazenamento. Os dados coletados são analisados para serem tomadas ações específicas com base nos serviços necessários. Os sensores IoT podem ser sensores inteligentes, atuadores ou sensores vestíveis.
- **Comunicação:** São as técnicas utilizadas para conectar os objetos inteligentes por meio do uso de tecnologias como Wi-Fi e Bluetooth. Vistas como fator crítico, uma vez que desempenham um papel importante no consumo de energia dos objetos.
- **Computação:** Unidades de processamento por exemplo, microcontroladores, microprocessadores, FPGAs (*Field-Programmable Gate Array*) e aplicações de software representam a capacidade computacional da IoT. Várias plataformas de *hardware* foram desenvolvidas para executar aplicações de IoT, como o Arduino e Raspberry Pi. Plataformas em nuvem também formam parte computacional importante da IoT. Essas plataformas fornecem recursos para objetos inteligentes enviarem seus dados para a nuvem, para que sejam processados em tempo real e, eventualmente, para que os usuários finais se beneficiem do conhecimento extraído dos dados.
- **Serviços:** A IoT provê diversos serviços, entre eles os Serviços de identificação, responsáveis pelo mapeamento de entidades físicas em entidades virtuais como, por exemplo, a temperatura de um local físico em seu valor e instante da coleta, toda aplicação que precisa trazer objetos do mundo real para o mundo virtual tem que identificar esses objetos. Serviços de agregação de informação que coletam e resumizam os dados obtidos dos objetos inteligentes. Serviços de colaboração e inteligência que atuam sobre os serviços de agregação de dados para tomar decisões e reagir de acordo com determinado cenário. E, Serviços de ubiquidade que oferecem

serviços de colaboração e inteligência em qualquer lugar e momento em que sejam necessários.

- Semântica: Se refere à habilidade de extrair conhecimento de forma inteligente dos objetos na IoT, por meio dos dados existentes, com o propósito de prover determinado serviço. Para isso, podem ser usadas técnicas como *Resource Description Framework* (RDF) e *Ontology Web Language* (OWL).

2.6 Arquitetura para IoT

De acordo com o modelo de arquitetura abordado em (AL-FUQAHA et al., 2015) a IoT apresenta as seguintes camadas:

- Camada de objetos: A camada de objetos ou camada de percepção, representa os objetos físicos que utilizam sensores para coletar e processar informações. Sua principal função é identificar os objetos, coletar informações e as converter em sinais digitais. Inclui sensores e atuadores que executam diferentes funcionalidades como consultar localização, temperatura, umidade, aceleração, etc. A camada de objetos digitaliza e transfere dados para a camada de abstração de objetos.
- Camada de abstração de objetos: Responsável por transferir dados produzidos pela camada de objetos para a camada de gerenciamento de serviços. Os dados podem ser transmitidos por tecnologias como RFID, Wi-Fi, ZigBee, etc.
- Camada de gerenciamento de serviços: Também conhecida como camada de middleware, é responsável por emparelhar um serviço com seu solicitante baseado em endereços e nomes, cada dispositivo se conecta e comunica apenas com os outros dispositivos que implementam o mesmo tipo de serviço. Além disso, esta camada recebe e processa os dados recebidos da camada de abstração de objetos.
- Camada de aplicação: Provê os serviços requisitados pelos usuários, por exemplo, a camada de aplicação pode fornecer medições de temperatura e umidade do ar para o cliente que solicita esses dados. Essa camada provê um gerenciamento das aplicações com base nas informações dos objetos processados na camada de Middleware.
- Camada de negócios: A camada de negócios é responsável pelo gerenciamento de todo o sistema IoT, incluindo as aplicações e serviços. São construídos modelos de negócios, grafos e fluxogramas baseados nos dados recebidos da camada de aplicação. Com base na análise dos resultados, esta camada ajuda a determinar ações futuras e estratégias de negócios.

2.7 Dispositivo

O dispositivo escolhido para este trabalho possui tamanho pequeno, comunicação Wi-Fi, suporte ao protocolo SNMP e pinos GPIO (*General Purpose Input/Output*) para comunicação com periféricos.

2.7.1 NodeMCU

O kit de desenvolvimento NodeMCU v1.0 (Figura 4), vem com o módulo ESP-12E que utiliza o microcontrolador ESP8266 que conta com um microprocessador de 32 bits que opera na frequência de 80MHz à 160 MHz. Além disso o NodeMCU conta 4MB de memória flash, 17 pinos GPIO, e Wi-Fi, sendo ideal para projetos IoT, devido seu baixo custo e pode ser facilmente programado utilizando a IDE (*Integrated Development Environment*) do Arduino. O dispositivo também pode ser usado como um ponto de acesso para estender uma rede já existente ou como usuário final, o que permite sua fácil integração à uma rede já existente e comunicação com outros dispositivos de forma simples. Além disso apresenta baixo consumo de corrente conforme a tabela 1, aliado a um bom poder de processamento.

Tabela 1 – Consumo de corrente ESP8266

Modo	Corrente
TX802.11 b, CCK 11 Mbps, P OUT = +17 dBm	170 mA
TX802.11 g, OFDM 54Mbps, POUT = +15 dBm	140 mA
TX802.11 n, MCS7, POUT = +13 dBm	120 mA
Rx802.11 b, 1024 bytes packet length, -80 dBm	50 mA
Rx802.11 g, 1024 bytes packet length, -70 dBm	56 mA
Rx802.11 n, 1024 bytes packet length, -65 dBm	56 mA

Fonte: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf. Acesso em 20 de Junho de 2022



Figura 4 – ESP8266 12E NodeMCU

Fonte: <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-wifi-esp8266-nodemcu-esp-12>. Acesso em 20 de Junho de 2022

2.8 Trabalhos relacionados

Há na literatura trabalhos que propõem a automatização e monitoramento remoto de sistemas climatizados. Esta seção visa discutir de forma breve alguns desses trabalhos.

Em (ROCHA et al., 2019) é proposto um sistema de gerenciamento de ambientes para o controle automatizado de aparelhos de ar condicionado cujo objetivo principal é evitar o desperdício de energia. A fim de evitar que os aparelhos de ar condicionado permaneçam ligados quando o ambiente não estiver sendo utilizado, são feitas intervenções automáticas com base nos dados obtidos por sensores de temperatura, umidade, presença e câmeras de vídeo. Uma característica interessante do dispositivo de hardware do sistema é a diversidade das características dos ambientes no qual ele é instalado, como ambientes com diferentes quantidades e modelos de aparelhos de ar condicionado.

Em (FERNANDES et al., 2020) é descrito sobre o gerenciamento de dados e alertas do sistema proposto em (ROCHA et al., 2019) com a adição de um módulo de alertas que permite monitorar o estado dos dispositivos, detectar anomalias, emitir alertas e notificar os administradores acerca deles. O módulo também conta com uma interface Web que permite o melhor gerenciamento de alertas e que usuários finais reportem problemas ocorridos nos ambientes monitorados, uma vez que podem surgir problemas ainda não mapeados pelos administradores do sistema.

No projeto de (BRAGA et al., 2017) é proposto um sistema de monitoramento em IoT que busca monitorar temperatura, umidade e a rede elétrica em um data center. A temperatura e a umidade são monitoradas para verificar se estão dentro do intervalo determinado pela fabricante dos equipamentos do data center e a rede elétrica é monitorada para checar se o grupo gerador está entrando em funcionamento caso haja interrupção no fornecimento de energia. A arquitetura do sistema conta com os seguintes componentes principais: sensores, gateway, nuvem e aplicação móvel. Os sensores coletam os dados de umidade e temperatura, e a tensão de dois pontos da rede elétrica, um que contempla o grupo gerador e o outro não. Os dados coletados pelos sensores são transmitidos por meio do protocolo ZigBee para um *gateway* que centraliza os dados. Em seguida estas informações são enviadas para um servidor em nuvem que processa os dados, os envia e emite alertas sobre as condições do ambiente monitorado para a aplicação móvel. Um aspecto interessante deste projeto é o uso do protocolo ZigBee, conhecido pela baixa potência de operação e baixo consumo de energia.

3 Desenvolvimento, Materiais e Métodos

Neste capítulo é apresentado o ambiente físico do datacenter, os materiais utilizados, o desenvolvimento do dispositivo, a integração do dispositivo ao sistema de gerenciamento de redes, assim como as características do sistema IoT desenvolvido e os testes realizados ao longo de seu desenvolvimento.

3.1 Ambiente físico do datacenter

O sistema proposto leva em conta as características do ambiente de sensoriamento, o datacenter do PoP-ES. No datacenter há três aparelhos de ar-condicionado e duas fileiras com racks, para atuação sobre os aparelhos de ar-condicionado foram desenvolvidos três dispositivos e posicionados em cima de cada rack de forma que a distância entre cada dispositivo e os ar-condicionados fosse a menor possível, a fim de garantir que os comandos infravermelhos disparados pelos dispositivos fossem recebidos, conforme Figura 5.

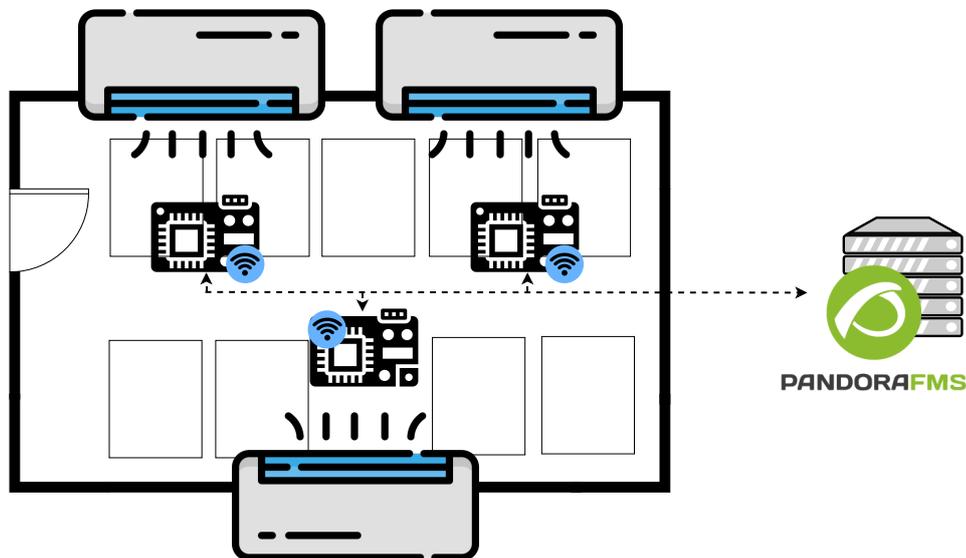


Figura 5 – Ambiente físico do datacenter

3.2 Materiais

Foram levados em conta materiais de baixo custo e que permitam a atuação nos aparelhos de ar-condicionado. O microcontrolador ESP8266 12E NodeMCU foi escolhido por atender estas características, além de contar com bibliotecas com licenças gratuitas,

grandes comunidades e bom suporte. Os comandos do ar condicionado foram clonados com o uso do módulo receptor infravermelho KY-022, cujas principais características são:

- Tensão de operação: 2.7V a 5.5V;
- Frequência da Portadora: 38 KHz.

A fim de garantir que a corrente fornecida para o LED infravermelho seja adequada, foi utilizado o transistor BC547, suas principais características são:

- Corrente máxima no coletor: 100 mA;
- Ganho: 110 - 800.

O LED emissor infravermelho escolhido para enviar os comandos ao ar-condicionado foi o TSAL6200, suas principais características são:

- Comprimento de onda: 940 η m;
- Corrente máxima 200 mA;

Segue, abaixo, a lista dos materiais utilizados:

- Três dispositivos ESP8266 12E NodeMCU;
- Três placas de circuito impresso;
- Três LEDs emissores infravermelho TSAL6200;
- Três transistores BC547;
- Um módulo receptor infravermelho KY-022;
- Roteador para criação da rede local;
- Um notebook Dell Inspiron 14R com processador Intel Core i7 1.8 GHz, 8 GBytes de memória RAM e conexão Wireless;

3.3 Desenvolvimento

Para o desenvolvimento de um dispositivo que fosse capaz de interagir com o sistema climatizado, inicialmente foi necessário clonar os comandos a serem enviados para o ar condicionado, para isso foi utilizado um receptor infravermelho KY-022.

O receptor transforma a luz infravermelha do controle remoto em sinal elétrico,

que é lido e processado pelo ESP8266 12E Node MCU (Figura 6). Cada comando foi armazenado em um vetor de inteiros com uma série sistemática de valores de tempo em que os pulsos infravermelhos devem permanecer alto (ligado) e baixo (desligado).

Em seguida, para o envio dos comandos ao ar condicionado foi necessário elaborar um circuito emissor infravermelho, para transmissão do sinal, foi necessário fazer sua amplificação a fim de que a área de alcance para controlar os aparelhos de ar condicionado seja maior, para isso foi utilizado um transistor BC547. Após a amplificação, o sinal elétrico é convertido em sinal luminoso, através do LED emissor infravermelho TSAL6200, que é apontado para o ar condicionado (Figura 7).

A corrente máxima de saída de um pino GPIO do ESP8266 é 12 mA, e o LED emissor funciona com uma corrente de até 200 mA. Não foi necessário utilizar um resistor na base do transistor, uma vez que a corrente no LED emissor após a base ser polarizada é menor que 100 mA, de forma a não danificar o transistor e o LED emissor, tal conclusão foi obtida por meio de medições realizadas no circuito emissor ao longo do desenvolvimento.

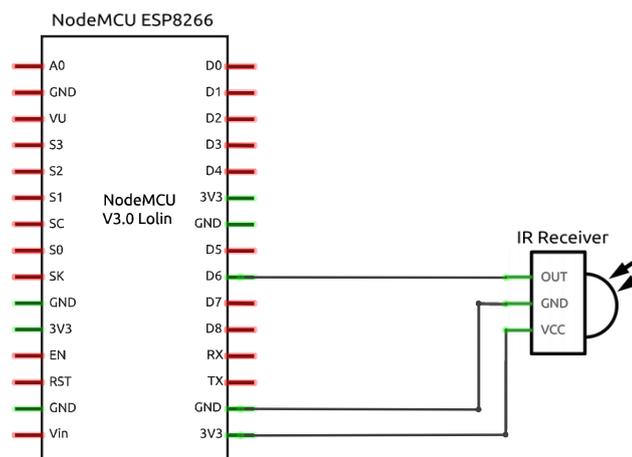


Figura 6 – Esquemático conexões entre ESP8266 12E NodeMCU e receptor infravermelho

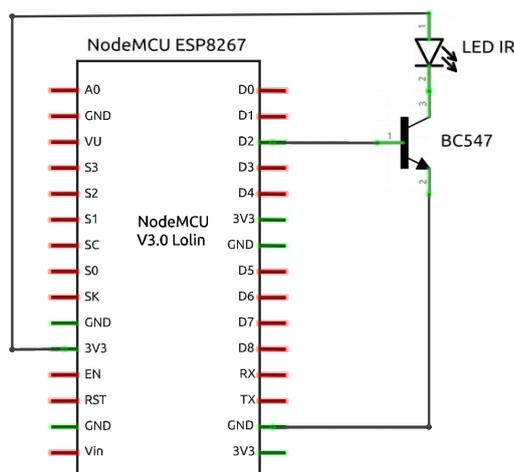


Figura 7 – Esquemático conexões entre ESP8266 12E NodeMCU e emissor infravermelho

3.4 Métodos

Para realizar o desenvolvimento dos dispositivos, foram utilizados os componentes da seção anterior. Estes, por sua vez foram integrados ao sistema de gerenciamento de redes Pandora FMS via protocolo SNMP, onde cada dispositivo funciona como um agente SNMP em que a informação que permite a escolha de qual comando será enviado ao ar-condicionado é armazenada em um OID, o gerente SNMP (Pandora FMS) pode alterar esta informação de forma automática pela configuração de alertas, ou manual por meio da atuação do usuário. Abaixo, segue uma descrição mais detalhada da metodologia utilizada.

3.4.1 Topologia lógica

Para o monitoramento de redes e equipamentos do PoP-ES é utilizado o sistema Pandora FMS e portanto decidiu-se que os dispositivos também fossem integrados a este sistema. Para essa integração, foi utilizado o SNMP, protocolo de gerência adotado como padrão para redes TCP/IP.

Cada dispositivo funciona como um agente SNMP cuja informação com a escolha acerca do comando a ser enviado para o ar-condicionado é representada por identificador de objetos (OID), de acordo com este identificador, determinado comando infravermelho armazenado no dispositivo é disparado. Por sua vez, no gerente SNMP (Pandora FMS) a fim de monitorar ou alterar a escolha de qual comando a ser enviado pelo dispositivo, utilizamos o OID. Na Figura 8 é ilustrada a topologia lógica.

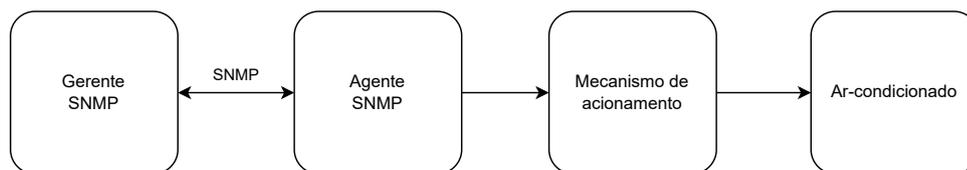


Figura 8 – Topologia lógica

3.4.2 Funcionamento do dispositivo

O dispositivo foi programado para que ao receber determinado valor via SNMP, seja executada uma função. A Tabela 2 ilustra a função realizada pelo dispositivo ao receber cada valor, que serão 3 opções: desligar ar-condicionado, ligar ar-condicionado, e sincronizar o status da variável no sistema de monitoramento com o estado do aparelho no ambiente. Essa última função, será abordada com mais detalhes em 3.4.5. Além disso toda vez que o dispositivo é inicializado a variável monitorada pelo OID tem o seu valor alterado para -1.

Tabela 2 – Funções realizadas pelo dispositivo ao receber determinado valor via SNMP

Valor	Função
0	Desligar ar-condicionado
1	Ligar ar-condicionado
2	Sincronização

3.4.3 Softwares Utilizados

Segue abaixo a lista de softwares utilizados para a realização do projeto:

- Ubuntu 18.04 LTS;
- Pandora FMS Enterprise versão 5.1. Ferramenta utilizada para monitoramento e acionamento dos dispositivos;
- Arduino IDE versão 1.8.12, utilizado para programar o ESP8266 12E NodeMCU;
- Bash 4.4.20. Shell usada para executar os scripts que são utilizados no Pandora FMS.

3.4.4 Bibliotecas Utilizadas

Para que os dispositivos se comuniquem com o Pandora FMS via SNMP, foi utilizada a biblioteca ArduinoSNMP (CYR, 2021), que permite configurar um agente SNMP no NodeMCU. Em conjunto a essa biblioteca, com a necessidade de se trabalhar com pacotes UDP na camada de transporte, foi utilizada a biblioteca WiFiUdp (GROKHOTKOV, 2017b).

A conexão com a rede pelo módulo Wi-Fi do NodeMCU foi realizada com o auxílio da biblioteca ESP8266WiFi (GROKHOTKOV, 2017a) que possibilita a definição de um IP fixo para o dispositivo. Para clonar e enviar os comandos infravermelhos dos aparelhos de ar-condicionado, a biblioteca IRremoteESP8266 (SZABO; SHIRRIFF; WARIN, 2017) foi utilizada.

3.4.5 Experimentos e testes

Na realização do primeiro teste foi implementada a comunicação entre o dispositivo e o gerente pela rede sem fio, via protocolo SNMP. No gerente (notebook), foi instalada a ferramenta NET-SNMP que permite o uso de recursos do protocolo SNMP e no dispositivo foi configurado o agente SNMP por meio da biblioteca ArduinoSNMP(CYR, 2021). Foram enviados comandos GET e SET via terminal do notebook, a fim de se obter e alterar respectivamente os valores de um objeto identificado por um OID no agente.

Após a implementação da comunicação via SNMP, foi instalada localmente no notebook uma máquina virtual com o Pandora FMS, em seguida foi adicionado o agente SNMP a ser monitorado na interface do Pandora e validada a comunicação. A fim de realizar a escolha de qual comando a ser enviado pelo dispositivo, foi criado um plugin no Pandora, que consiste em um script que executa a ação de SET e altera o valor da variável que permite a escolha do comando infravermelho a ser enviado pelo dispositivo, sendo que quando ocorre uma alteração nesta variável, o dispositivo a processa e envia determinado comando infravermelho.

Outro teste realizado foi o da clonagem e envio dos comandos infravermelhos do ar condicionado, inicialmente houve um empecilho na clonagem dos comandos, devido ao fato dos sinais emitidos por controles de ar condicionado possuírem um tamanho grande e a biblioteca IRremoteESP8266 (SZABO; SHIRRIFF; WARIN, 2017) definir uma constante para limitar o tamanho máximo do buffer que armazena o sinal a ser clonado, de forma a garantir a maior quantidade de SRAM(*Static Random Access Memory*) disponível para o restante do programa do usuário. Foi possível contornar o problema aumentando o valor do tamanho do *buffer* dentro da própria biblioteca. Após os comandos serem clonados, foram realizados testes usando o dispositivo desenvolvido, com o envio dos comandos de ligar e desligar para o ar-condicionado.

Por fim, outro empecilho encontrado foi garantir que de fato o estado de operação dos aparelhos de ar-condicionado no datacenter condiz com o acusado pelo sistema de monitoramento após situações como por exemplo o acionamento do ar-condicionado pelo controle remoto ao invés do dispositivo, uma vez que não há um monitoramento direto nos aparelhos por sensores de corrente ou tensão, mas sim no *status* das variáveis enviadas pelos dispositivos a cada aparelho. Para contornar este obstáculo, foi criado um plugin que consiste em um script que envia um valor ao dispositivo, que permite sincronizar o

status da variável no sistema de monitoramento com o estado do aparelho no ambiente, de forma a inverter o valor da variável no monitoramento quando o operador identificar alguma divergência, como no caso de um operador do PoP-ES se deslocar ao datacenter e verificar que no monitoramento o status do ar está como desligado, mas fisicamente ele estiver operando.

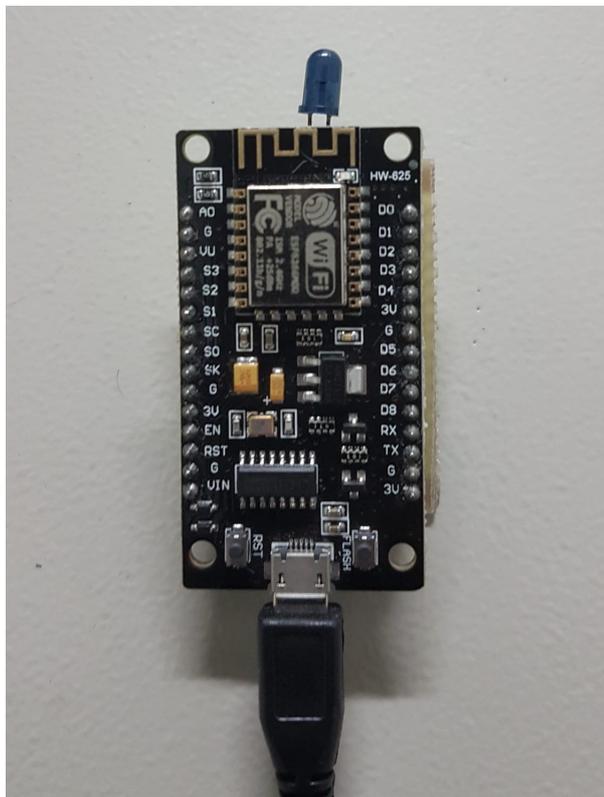


Figura 9 – Dispositivo desenvolvido

3.4.6 Implementação

Com as topologias elaboradas e os dispositivos desenvolvidos (Figura 9), foi realizada a integração com o Pandora FMS, onde foram adicionados agentes para cada um dos dispositivos utilizando o endereço IP atribuído a cada um deles, conforme exemplo na Figura 10. Por sua vez nos agentes foram adicionados módulos que permitem processar os dados a partir do endereço IP e OID da informação a ser monitorada. Foram utilizados módulos do tipo *plugin server* conforme exemplo na Figura 11, que permitem enviar os comandos via SNMP de forma manual para os dispositivos, e do tipo *network server* conforme exemplo na Figura 12, com propósito de monitorar estes comandos e também o estado dos microcontroladores.

A fim de automatizar o rodízio dos aparelhos de ar-condicionado foi criado um alerta que é disparado uma vez por semana e executa um script. Neste script é verificado o status das variáveis que monitoram cada aparelho, e tomadas ações de acordo com estes status, de forma a garantir que a cada semana um aparelho de ar condicionado diferente

fique desligado e dois fiquem operando. O fluxograma que mostra o processo de tomada de decisão a respeito de qual aparelho deve ser ligado, desligado ou mantido ligado, o qual é realizado semanalmente pode ser visto na Figura 13.

Há também no Pandora um agente termômetro, nele há um módulo que obtém a temperatura retornada por um sensor localizado dentro de um rack do datacenter. Neste módulo existe um alerta de temperatura que dispara um email para a equipe do PoP-ES quando a temperatura atinge um valor maior que 33 °C, caso o alerta seja disparado, um operador deve se deslocar ao datacenter para verificar e corrigir o problema que ocasionou o aumento de temperatura no ambiente, como por exemplo, defeito em algum aparelho de ar-condicionado. A fim de atuar previamente em um cenário de aumento de temperatura, foi adicionada uma ação ao alerta de forma que quando ele é disparado, além de ser enviado um email para a equipe do PoP-ES, seja executado um script que liga os três aparelhos de ar-condicionado, evitando que alguém tenha que se deslocar ao local de maneira imediata.



Figura 10 – Agente Pandora FMS

Using module component ?	--Manual setup--
Name	Enviar Comando - Ligar ID 957
Type ?	Generic numeric (generic_data)
Warning status ?	Min. 0.00 Max. 0.00 Inverse interval <input type="checkbox"/>
FF threshold ?	<input checked="" type="radio"/> All states changing : 0 <input type="radio"/> Each state changing : To 'normal' 0 To 'warning' 0 To 'critical' 0
Historical data	<input checked="" type="checkbox"/>
Plug-in ?	SNMP Set
Timeout	10
Versão	1
Comunidade	public
Host	[REDACTED]
OID	1.3.6.1.4.1.12345.3
Inteiro	1

Figura 11 – Módulo do tipo plugin server Pandora FMS

Using module component ?	--Manual setup--
Name	SNMP Status ID 1001
Type ?	Remote SNMP network agent, numeric data (remote_snmp)
Warning status ?	Min. 0.00 Max. 0.00 Inverse interval <input type="checkbox"/>
FF threshold ?	<input checked="" type="radio"/> All states changing : 0 <input type="radio"/> Each state changing : To 'normal' 0 To 'warning' 0 To 'critical' 0
Historical data	<input checked="" type="checkbox"/>
Target IP	
SNMP community	public
SNMP OID	.1.3.6.1.4.1.12345.3

Figura 12 – Módulo do tipo network server Pandora FMS

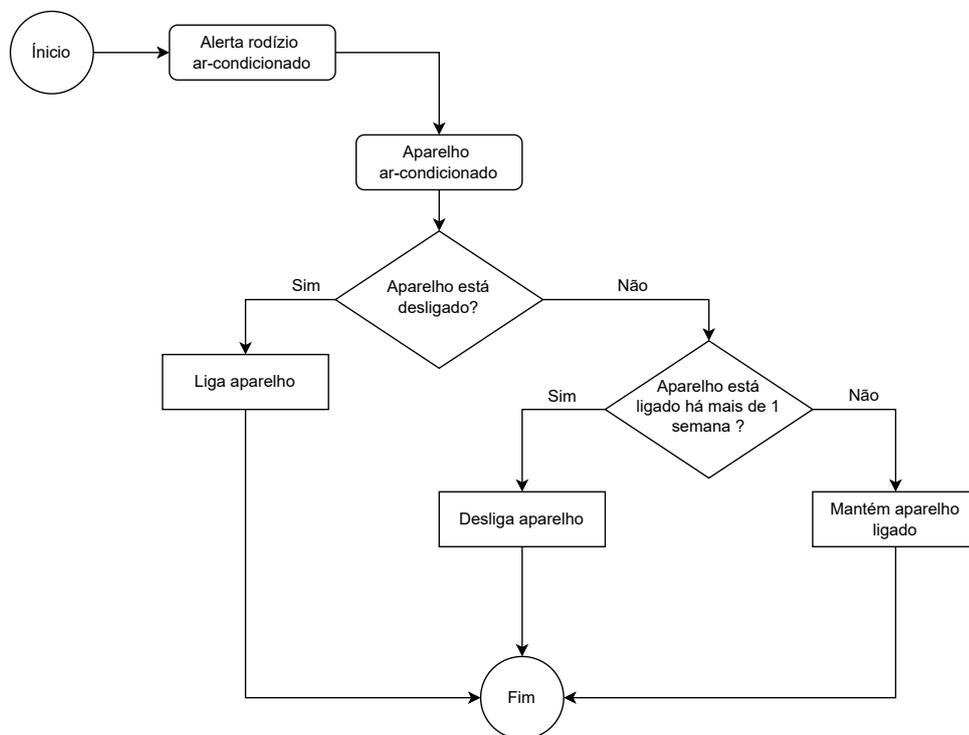


Figura 13 – Rodízio aparelhos ar-condicionado

3.4.7 Consumo energético teórico

Há métodos eletrônicos de medição de consumo energético, em que é necessário instalar medidores em pontos de consumo e em seguida armazenar estes dados em tabelas de consumo. Porém, neste trabalho o consumo será analisado através das potências nominais de cada aparelho ar-condicionado de uma forma mais simples e direta.

Para se obter uma estimativa do consumo mensal de energia elétrica do sistema de climatização do datacenter é aplicada a equação 1.

$$C_{mês} = P_n \times t_{func} \quad (1)$$

Onde:

$C_{mês}$: é o consumo mensal médio de energia dos aparelhos de ar-condicionado (kW.h/mês)

P_n : é a potência nominal dos aparelhos de ar-condicionado (kW)

t_{func} : é o tempo de funcionamento dos aparelhos de ar-condicionado (h/mês)

4 Avaliação da Proposta

A avaliação da proposta é apresentada nas seções seguintes, inicialmente é verificado se a temperatura do datacenter cumpre as características estabelecidas pela ASHRAE, conforme visto em 2.2. Em seguida, é analisado o funcionamento do protótipo em uso e descritas algumas limitações enfrentadas, por fim é feita uma estimativa do consumo energético do sistema de climatização.

4.1 Monitoramento

A partir do sistema de monitoramento de temperatura, é possível constatar que o ambiente do datacenter do PoP-ES cumpre as características de temperatura estabelecidas pela ASHRAE em documento com as diretrizes térmicas para datacenters (ASHRAE, 2021) que permite que estes ambientes sejam refrigerados por temperaturas entre 15°C e 32°C. O documento ainda estabelece entradas de ar dos equipamentos de TI como ponto de medição para temperatura e umidade. A figura 14 permite concluir que ambiente do datacenter está de acordo o intervalo de temperatura aceito pela ASHRAE, as medições foram realizadas pelo sensor de temperatura localizado dentro de um rack, são consideradas as temperaturas médias de cada dia e analisado um período de sete dias.

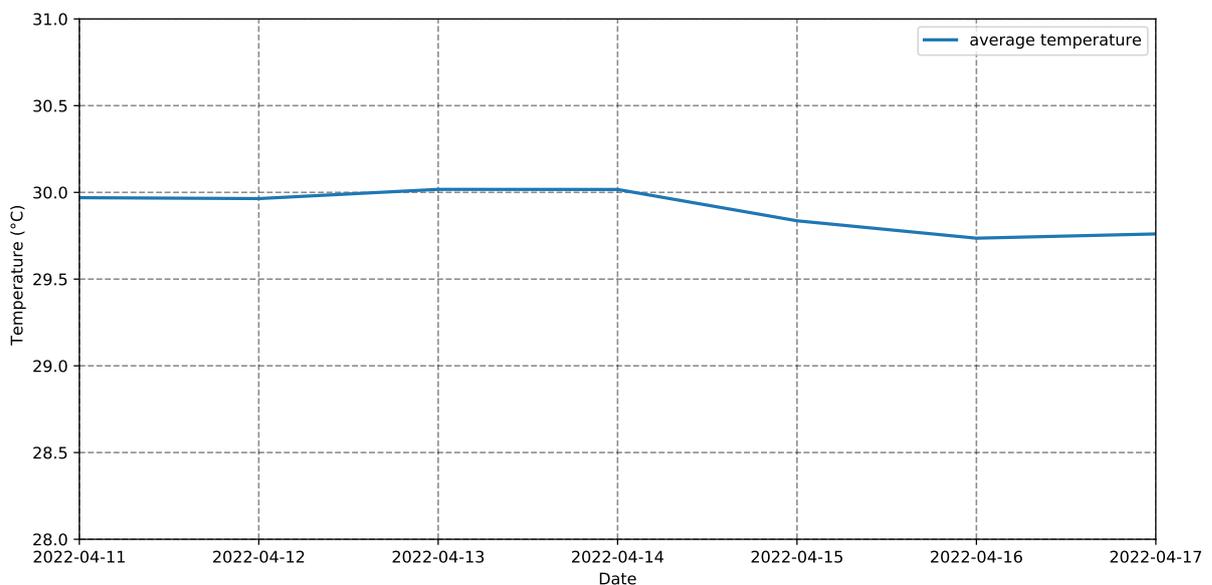
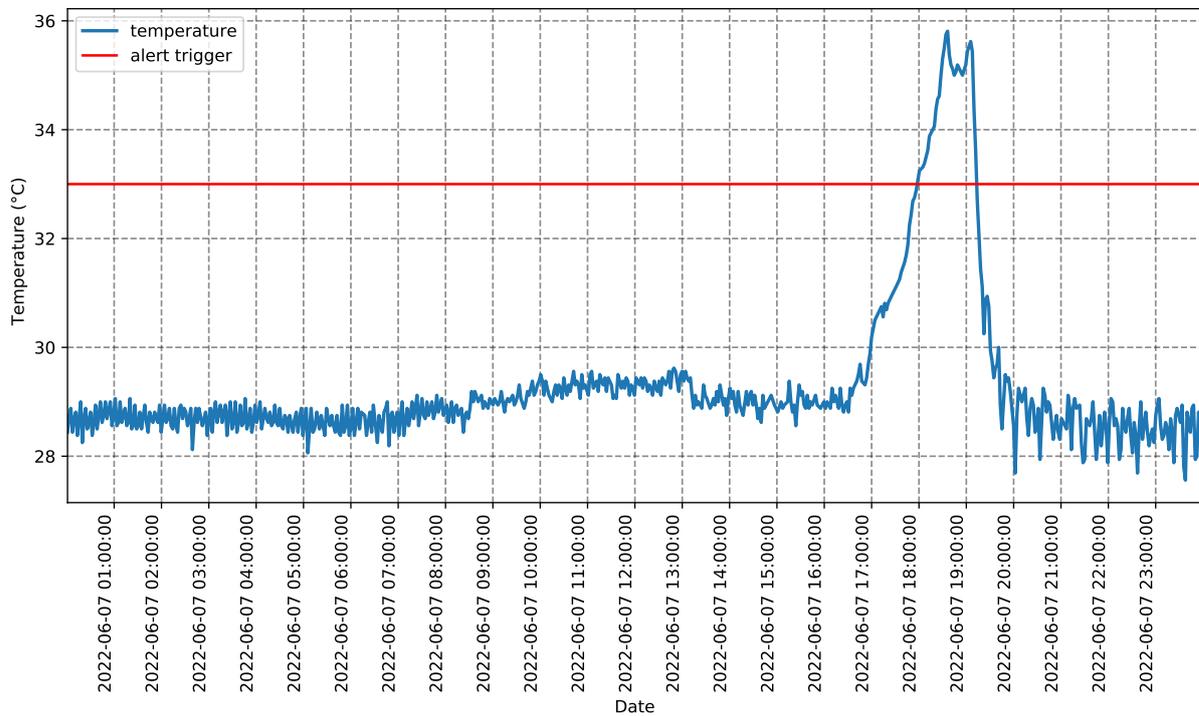
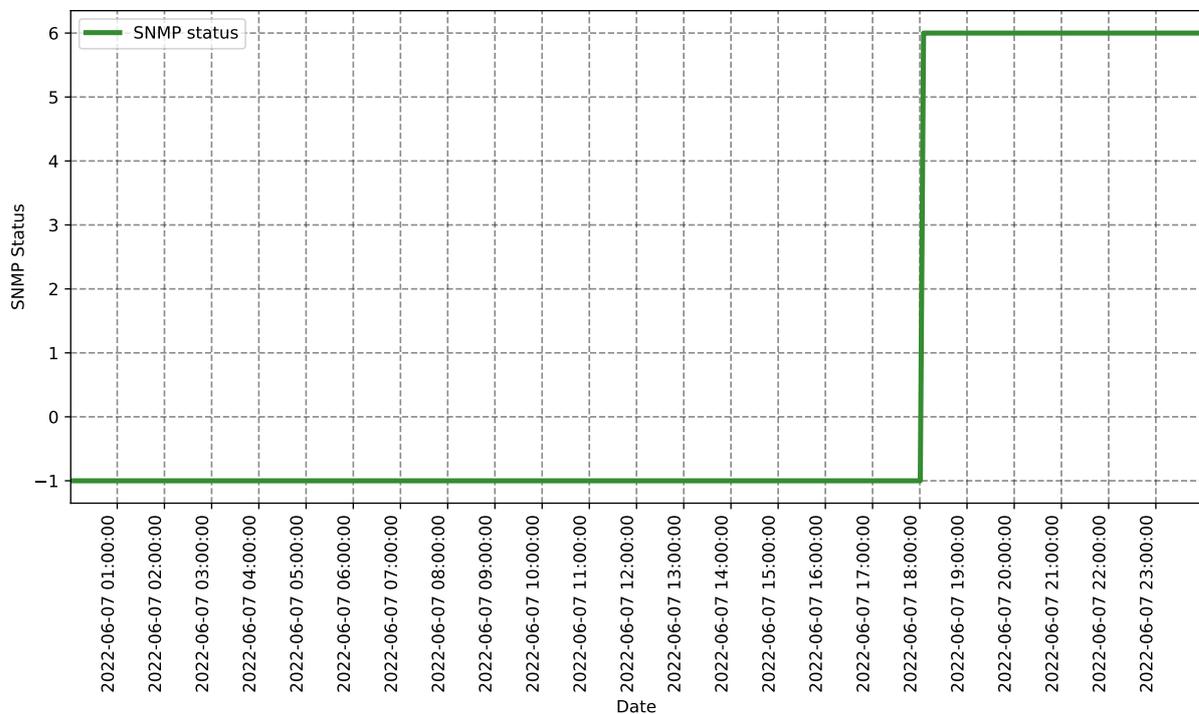


Figura 14 – Oscilação temperatura média

4.2 Protótipo em uso



(a) Variação temperatura em função do tempo.



(b) Variação sinal SNMP monitorado em função do tempo.

Figura 15 – Trigger por aumento de temperatura no datacenter.

Por problemas operacionais não foi possível realizar todos os testes pretendidos, dado que um dos equipamentos de ar condicionado ficou indisponível por danificação.

Tal cenário fez com que os dois equipamentos restantes ficassem em operação o tempo todo, o que inviabilizou a execução do sistema de rodízio. Durante este período e já com o protótipo em funcionamento, um dos equipamentos de ar-condicionado entrou em manutenção programada e após a conclusão da manutenção o técnico esqueceu de colocar o equipamento novamente em operação. Isso fez com que a temperatura do datacenter aumentasse notavelmente, dado que só um equipamento estava funcionando. O gráfico de temperatura durante esse cenário específico pode ser visualizado na Figura 15a. Tal comportamento da temperatura da fez com que um alerta no sistema de monitoramento alterasse o valor a ser interpretado no dispositivo como pode ser visto na na Figura 15b. Durante este cenário o valor da variável monitorada via SNMP foi alterado para o valor 6 (seis), uma vez que ao interpretar este valor o dispositivo não aciona nenhum comando infravermelho.

4.3 Consumo de rede

A implementação do SNMP não precisa aceitar mensagens cujo comprimento exceda 484 bytes segundo a especificação do protocolo na RFC 1157 (FEDOR et al., 1990), ao analisar o consumo da rede levou-se em conta mensagens com este tamanho. Com o propósito de checar o valor da temperatura no datacenter é realizada uma requisição pelo gerente ao agente SNMP (*GetRequest*) e enviada a resposta do agente ao gerente (*GetResponse*), circulando duas mensagens na rede. A fim de estimar o intervalo entre as requisições realizadas pelo gerente ao agente a ser configurado na ferramenta PandoraFMS, foram realizados testes para verificar o consumo da rede durante 24h para diferentes intervalos entre as requisições. Percebe-se conforme a Figura 16 que mesmo para intervalos pequenos entre as requisições, durante um dia, o consumo da rede é da ordem de *kilobytes*. Analisando a Figura 15a, observa-se para que mesmo em casos extremos, onde só há um aparelho operando no datacenter, só há uma elevação significativa de temperatura no datacenter após 1h30min (período entre 16h30min e 18h). Diante disso, e levando em conta o uso da rede e a oscilação de temperatura em um cenário crítico, foi utilizado um intervalo de 10min entre as requisições para se obter a temperatura, uma vez que não há uma perda de informações sobre temperatura e o uso da rede durante um dia não atinge sequer 200 *kilobytes*.

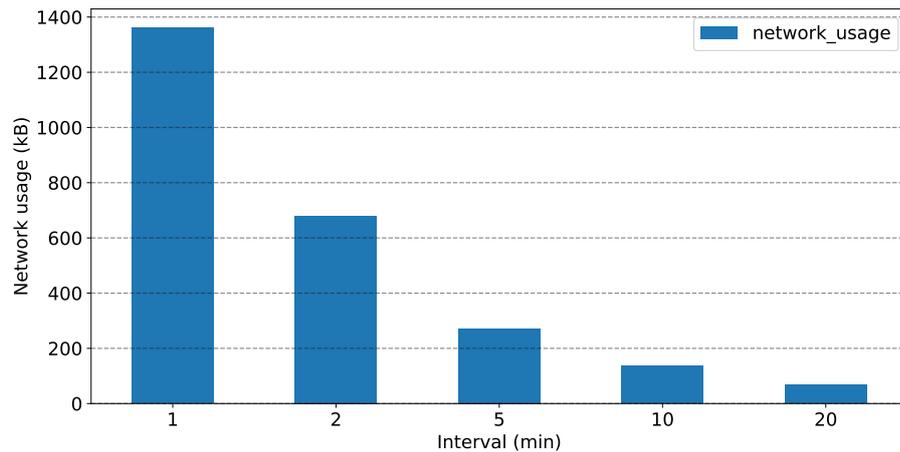


Figura 16 – Consumo de rede ao longo de um dia

4.4 Consumo energético teórico

A fim de se obter uma estimativa do consumo energético de cada aparelho de ar-condicionado são levantadas as informações com as características dos aparelhos na tabela 3.

Tabela 3 – Levantamento de informações aparelho ar-condicionado

MARCA	Springer	
TIPO	Split piso-teto	
MODELO	UNIDADE INTERNA	38CCU060235MS
	UNIDADE EXTERNA	42XQW60S5
TENSÃO (V)	380	
CAPACIDADE NOMINAL REFRIGERAÇÃO	BTU/h	57000
	kW	16,71
POTÊNCIA NOMINAL (W)	5500	

No data center do PoP-ES os aparelhos de ar-condicionado funcionam durante 24h todos os dias do mês, e aplicada a equação 1, cada aparelho conta com um consumo médio aproximado de 3960 kW.h/mês.

5 Conclusão

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema IoT que provê automatização e monitoramento remoto de sistema climatizado em um ambiente de data center, por meio do desenvolvimento de um dispositivo capaz de atuar sobre os aparelhos de ar condicionado e sua integração com um sistema de monitoramento de redes. Este capítulo abordará as considerações finais do trabalho e perspectivas de trabalhos futuros.

5.1 Considerações Finais

Os objetivos citados no Capítulo 1 foram alcançados, começando pelo estudo da gestão térmica em datacenters, o que permitiu concluir que o ambiente do datacenter do PoP-ES cumpre as características de temperatura estabelecidas pela ASHRAE em documento com as diretrizes térmicas para datacenter.

Por sua vez, o protocolo SNMP com sua boa interoperabilidade, ao permitir que os mais diversos tipos de dispositivos utilizem o protocolo, mesmo tendo pouco poder de processamento, já que a maior parte do processamento ocorre na máquina do gerente, foi implementado no microcontrolador ESP8266 12E NodeMCU. A escolha desse microcontrolador, foi um fator importante devido ao seu baixo custo e sua comunicação via Wi-Fi, com fácil acesso a rede. Na interação entre o emissor infravermelho e o ar condicionado, é possível notar que o equipamento recebe de forma eficaz o sinal, ao fazer barulho de forma a avisar que a recepção do sinal foi feita com sucesso.

Foi realizada a integração do dispositivo à ferramenta de monitoramento Pandora FMS, com a ressalva de que o Pandora é uma ferramenta de monitoramento, que não é feita para atuar sobre dispositivos, sendo sua função principal o monitoramento e geração de alertas. Para contornar tal característica foram feitos scripts que são executados quando os alertas são disparados, de forma a atuar sobre os dispositivos. Como uma das principais contribuições do trabalho, destaca-se a integração do dispositivo com o sistema de monitoramento de redes via SNMP.

5.2 Limitações

O grande fator a ser debatido neste trabalho é garantir que de fato o estado de operação dos aparelhos de ar-condicionado no datacenter condiz com o acusado pelo sistema de monitoramento após situações como por exemplo o acionamento do ar-condicionado pelo controle remoto ao invés do dispositivo, uma vez que não há um monitoramento direto

nos aparelhos por sensores de corrente ou tensão, mas sim no status das variáveis enviadas pelos dispositivos a cada aparelho. Tendo em vista tal fator, foi desenvolvida a função de sincronizar o status da variável no sistema de monitoramento com o estado do aparelho, sendo necessária a interferência de um fator humano, o que abre espaço para trabalhos futuros. Outra limitação encontrada, foi que só havia o ambiente de produção para realizar testes no sistema desenvolvido e não foi possível realizar todos os testes pretendidos, uma vez que um dos equipamentos de ar condicionado ficou indisponível por danificação. Tal cenário fez com que os dois equipamentos restantes ficassem em operação o tempo todo, o que inviabilizou a execução do sistema de rodízio.

5.3 Trabalhos Futuros

Um possível trabalho futuro, é a integração de um sensor de corrente ao sistema desenvolvido, de forma a verificar se os aparelhos de ar condicionado estão ligados por meio do monitoramento da corrente elétrica, sendo possível até mesmo estimar o consumo energético dos aparelhos. Outro trabalho a ser realizado é a prototipagem de placa de circuito impresso e caixa para acondicionar o dispositivo.

5.4 Material Complementar

Todo o código fonte utilizado no projeto está disponível em <<https://github.com/renanbadeud/Controle-Ar-Datacenter>>. Acesso em 11 de Agosto de 2022.

Referências

- AL-FUQAHA, A. et al. Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, v. 17, n. 4, p. 2347–2376, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 24.
- ASHRAE. *Thermal Guidelines for Data Processing Environments*. [s.n.], 2021. Disponível em: <https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/bookstore/supplemental%20files/referencecard_2021thermalguidelines.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 37.
- BRAGA, A. et al. Gerenciamento térmico e elétrico de um centro de dados utilizando sensoriamento iot. In: . [S.l.: s.n.], 2017. Citado na página 26.
- CYR, A. *ArduinoSNMP library*. 2021. <https://github.com/Oneblock/Arduino_SNMP>. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.
- FEDOR, M. et al. *Simple Network Management Protocol (SNMP)*. RFC Editor, 1990. RFC 1157. (Request for Comments, 1157). Disponível em: <<https://www.rfc-editor.org/info/rfc1157>>. Citado na página 39.
- FERNANDES, A. et al. Monitorando dados e gerenciando alertas em um sistema para controle de aparelhos de ar condicionado. In: *Anais do XLVII Seminário Integrado de Software e Hardware*. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2020. p. 139–150. ISSN 2595-6205. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/semish/article/view/11324>>. Citado na página 26.
- FILHO, M. F. *Conceitos e infraestrutura de datacenters*. [S.l.: s.n.], 2016. ISBN 9788550601175. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.
- GROKHOTKOV, I. *Esp8266WiFi library*. 2017. <<https://arduino-esp8266.readthedocs.io/en/latest/esp8266wifi/readme.html>>. Citado na página 32.
- GROKHOTKOV, I. *WiFiUdp library*. 2017. <<https://arduino-esp8266.readthedocs.io/en/latest/esp8266wifi/udp-examples.html>>. Citado na página 31.
- MOTA, L. et al. A comparative analysis of network management protocols in iot applications. *Journal of Computer Science*, v. 14, p. 1238–1246, 09 2018. Citado na página 21.
- PANDORAFMS. *Manual*. [s.n.], 2022. Disponível em: <https://pandorafms.com/manual/en/documentation/01_understanding/01_introduction>. Citado na página 22.
- PRIYADUMKOL, J.; KITTICHAIKARN, C. Application of the combined air-conditioning systems for energy conservation in data center. *Energy and Buildings*, v. 68, p. 580–586, 01 2014. Citado na página 18.
- RAMOS, L.; BIANCHINI, R. C-oracle: Predictive thermal management for data centers. In: *2008 IEEE 14th International Symposium on High Performance Computer Architecture*. [s.n.], 2008. p. 111–122. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/4658632>>. Citado na página 17.

- REN, J.; LI, T. Network Management. In: . [s.n.], 2010. Disponível em: <<https://www.egr.msu.edu/~renjian/pubs/network-management.pdf>>. Citado na página 19.
- ROCHA, F. et al. Um sistema de gerenciamento e automação de climatização para eficiência energética. In: *Anais do XLVI Seminário Integrado de Software e Hardware*. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2019. p. 81–92. ISSN 2595-6205. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/semish/article/view/6569>>. Citado na página 26.
- SCHMIDT, R. R.; CRUZ, E. E.; IYENGAR, M. Challenges of data center thermal management. *IBM Journal of Research and Development*, v. 49, n. 4.5, p. 709–723, 2005. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5388826>>. Citado na página 18.
- STALLINGS, W. *Data and Computer Communications*. Pearson Prentice Hall, 2004. (Prentice-Hall International editions). ISBN 9780131006812. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=UPVSAAAAMAAJ>>. Citado na página 20.
- SZABO, M.; SHIRRIFF, K.; WARIN, S. *IRremoteESP8266 library*. 2017. <<https://github.com/crankyoldgit/IRremoteESP8266>>. Citado na página 32.