



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA

CURSO DE ENGENHARIA INFORMÁTICA

Trabalho de Licenciatura

**MODELO DE MONITORIA E OPTIMIZAÇÃO DE CONSUMO ENERGÉTICO EM
EDIFÍCIOS COM BASE EM IoT PARA REDUÇÃO DE EMISSÕES DE GASES DE
EFEITO ESTUFA (GEE)**

Local de Estudo: Banco de Moçambique - Sede

Autor

Conjua, Pinto Daniel

Supervisor

Mestre Felizado Munguambe, Eng^o

Maputo, Outubro de 2025



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA

CURSO DE ENGENHARIA INFORMÁTICA

Trabalho de Licenciatura

**MODELO DE MONITORIA E OPTIMIZAÇÃO DE CONSUMO ENERGÉTICO EM
EDIFÍCIOS COM BASE EM IOT PARA REDUÇÃO DE EMISSÕES DE GASES DE
EFEITO ESTUFA (GEE)**

Local de Estudos: Banco de Moçambique - Sede

Autor

Conjua, Pinto Daniel

Supervisor

Mestre Felizado Munguambe, Eng^o

Maputo, Outubro de 2025



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA

CURSO DE ENGENHARIA INFORMÁTICA

TERMO DE ENTREGA DE RELATORIO DO TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que o estudante **Pinto Daniel Conjua**, entregou no dia 15/10 /2025 `as cópias do relatório do seu Trabalho de Licenciatura com a referência _____ intitulado: Modelo de Monitoria e Optimização de Consumo de Energia Elétrica em edifício, com base em lot para a redução de Emissão de gases de Efeito Estufa.

Maputo, aos 15 de Outubro de 2025

O Chefe da Secretaria

DECLARAÇÃO

Declaro que este trabalho é da minha autoria e resulta da minha investigação. Esta é a primeira vez que submeto para obter o grau académico nesta instituição educacional.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, pelo amor, paciência e apoio incondicional em todos os momentos. Às pessoas que acreditaram em mim, mesmo nas adversidades, minha eterna gratidão.

Também dedico este esforço a todos os profissionais e pesquisadores que, com seu trabalho e dedicação, inspiram a construção de um futuro mais sustentável e inovador, incentivando iniciativas que unem tecnologia e preservação ambiental.

Que este projecto sirva como uma pequena contribuição para um mundo melhor, em que a eficiência energética e a responsabilidade ambiental sejam valores centrais.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro Lugar, quero agradecer a Deus pela dádiva da vida, agradecer a minha família, pelo apoio que sempre me foi dado, principalmente aos meus pais e minha esposa, pela moral e confiança que sempre depositaram em mim.

Agradeço aos docentes, funcionários, e técnicos administrativos da faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane que contribuíram no percurso académico e pelas orientações valiosas o alcance deste objetivo.

Agradeço em especial ao meu supervisor Mestre Felizardo Munguambe pelo apoio incondicional neste percurso, ao engenheiro Massuque pelo seu suporte académico ao longo do desenvolvimento deste modelo.

Agradeço a todos os meus amigos e colegas pelo apoio em todos os momentos e em todos níveis, que estiveram pronto em ajudar.

Resumo

Este trabalho abordou o problema da optimização do consumo de energia e a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) em ambientes residenciais, comerciais e industriais, utilizando tecnologias de monitoria remoto. Este tema é relevante, tendo em conta a crescente demanda por energia e os impactos ambientais associados ao seu consumo, tornando a eficiência energética uma questão fundamental para a sustentabilidade. O objectivo principal foi desenvolver e implementar um sistema de monitoria de medições eléctricas em tempo real, utilizando o módulo ESP8266 e o sensor PZEM004T. Para isso, foi adoptada uma metodologia que incluiu o desenvolvimento do sistema e a realização de testes rigorosos de desempenho, conectividade e precisão das medições. A solução proposta demonstrou eficácia em fornecer dados precisos e actualizados, com um sistema robusto que opera de forma eficiente em diversas condições. A aplicação desta solução pode contribuir para a optimização do consumo de energia, permitindo uma melhor gestão dos recursos energéticos e alinhando-se com práticas sustentáveis. A implementação desta solução no Banco de Moçambique, por exemplo, poderia resultar na redução significativa dos custos operacionais e das emissões de GEE. O uso de plataformas como Kaa IoT e ThingsBoard também oferece uma maneira mais robusta de gerir e analisar os dados gerados. A solução tem implicações importantes para a sociedade civil, uma vez que promove a consciencialização sobre a importância da eficiência energética e da sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: Monitoria energético, IoT, eficiência energética, redução de GEE, sustentabilidade, ESP8266, PZEM004T, Kaa IoT, ThingsBoard.

Abstract

This work addressed the problem of optimizing energy consumption and reducing greenhouse gas (GHG) emissions in residential, commercial, and industrial environments using remote monitoring technologies. This topic is relevant given the growing demand for energy and the environmental impacts associated with its consumption, making energy efficiency a fundamental issue for sustainability. The main objective was to develop and implement a real-time electrical measurement monitoring system using the ESP8266 module and the PZEM004T sensor. To achieve this, a methodology was adopted that included system development and rigorous testing of performance, connectivity, and measurement accuracy. The proposed solution demonstrated effectiveness in providing accurate and up-to-date data, with a robust system that operates efficiently under diverse conditions. The application of this solution can contribute to optimizing energy consumption, enabling better management of energy resources and aligning with sustainable practices. Implementing this solution at the Bank of Mozambique, for example, could result in a significant reduction in operating costs and GHG emissions. The use of platforms such as Kaa IoT and ThingsBoard also offers a more robust way to manage and analyze the generated data. The solution has important implications for civil society, as it promotes awareness of the importance of energy efficiency and environmental sustainability.

Keywords: Energy monitoring, IoT, energy efficiency, GHG reduction, sustainability, ESP8266, PZEM004T, Kaa IoT, ThingsBoard.

INDICE

DECLARAÇÃO	ii
DEDICATÓRIA	iii
AGRADECIMENTOS	iv
Resumo	v
Abstrat.....	vi
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	10
1.1. Contextualização	10
1.1.1. Definição do problema.....	12
1.1.2. Pergunta de pesquisa.....	13
1.2. Objectivos.....	13
1.2.1. Objectivo Geral.....	13
1.2.2. Objectivos Específico:.....	13
1.3. Metodologia.....	14
1.3.1. Classificação do Trabalho	14
1.3.2. Medologia de Desenvolvimento.....	17
1.4. Estrutura do Trabalho	20
Capítulo 2 - Revisão da Literatura	22
2.1. Eficiência Energética e Desenvolvimento Económico	22
2.2. Norma ISO 50001: Gestão de Energia.....	24
2.2.1. Gestão de Energia	24
2.2.2. Sistemas de Gestão de Energia	25
2.2.3. Norma ISO 50001:2011	26
2.3. Emissões de CO2	29
2.4. Internet das Coisas (IoT).....	31
2.4.1. Arquitectura da IoT.....	32
2.4.2. Desafios e Oportunidades da IoT	34
2.4.3. Aplicações de IoT na Optimização Energética e Redução das Emissões de GEE em Edifícios	36
CAPÍTULO 3: LOCAL DE ESTUDO	39
3.1. Localização	39
3.2. Desafios específicos na monitoria e optimização de consumo energético no Banco de Moçambique – Sede	39

3.2.1.	Ausência de um Sistema Integrado de Monitoria Energética	40
3.2.2.	Dependência de Fontes de Energia Não Renováveis	40
3.2.3.	Uso Ineficiente de Sistemas de Climatização e Iluminação	40
3.2.4.	Falta de Conscientização e Engajamento dos Colaboradores	41
3.2.5.	Infra-estrutura Tecnológica com Elevada Demanda Energética.....	41
3.3.	Constrangimentos e limitações nos sistemas de monitoria e optimização de consumo energético no Banco de Moçambique – Sede	42
3.3.1.	Limitações Tecnológicas e Infra-estruturais	42
3.3.2.	Desafios Financeiros e Orçamentais.....	43
3.3.3.	Capacitação Técnica e Sensibilização	44
4.1.	Descrição da proposta de solução	45
4.2.	Componentes Chave	45
4.3.	Princípio de Funcionamento	46
4.4.	Benefícios da Solução.....	47
4.5.	Custo de Implementação e Instalação do Sistema.....	48
CAPÍTULO 5: DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO		49
5.1.	Visão Geral do Sistema.....	49
5.2.	Análise e definição de requisitos	49
5.2.1.	Âmbito do Sistema	49
5.2.2.	Grupos de Interesse	50
5.2.3.	Convenções.....	50
5.2.4.	Requisitos do Sistema.....	51
5.2.5.	Requisitos funcionais	52
5.2.6.	Requisitos não funcionais.....	53
5.3.	Projecto de sistema e software.....	54
5.3.1.	Requisitos de software.....	54
5.3.2.	Requisitos de hardware	55
5.3.3.	Diagrama de casos de USO	56
5.3.4.	Arquitectura.....	57
5.3.5.	Modelo de Funcionamento.....	58
5.4.	Implementação e teste de unidade	61
5.5.	Integração e teste de sistema	63
CAPÍTULO 6: CONSIDERAÇÕES FINAIS		65

6.1.	Conclusões	65
6.2.	Recomendações	66
7.	Referências / Bibliografia	68
8.	Anexos	69
ANEXO 1: GUIÃO DA ENTREVISTA E RESPOSTAS		69
ANEXO 2: CÓDIGO DO PROGRAMA		72

Índice de Figura

Figura 1: Melhoria Contínua do desempenho energético da organização, através da implementação da metodologia PDCA. Fonte: (SOARES 2015).	27
Figura 2: Número de dispositivos de IoT conectados 2015-2025	32
Figura 3: Arquitectura de Internet das Coisas	33
Figura 4: Diagrama de Local de Uso	57
Figura 5: Arquitectura do Sistema	58
Figura 6: Fluxo de Funcionamento	59
Figura 7: Diagrama de circuito do medidor de energia IoT	60
Figura 8: DashBoard	61

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

A gestão do consumo de energia e a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) têm-se tornado prioridades a nível global (ONU, 2023; World Bank, 2023). De acordo com a Agência Internacional de Energia (AIE), cerca de 10% do consumo total de energia em edifícios comerciais provêm do sector financeiro, o que contribui significativamente para as emissões de GEE (AIE, 2023). Em Moçambique, a situação é igualmente desafiante. O país ainda depende fortemente de fontes de energia não renováveis, como carvão e petróleo, que constituem mais de 80% da matriz energética nacional (Ministério da Terra e Ambiente, 2021).

Nos últimos anos, Moçambique tem feito esforços para aumentar a participação de energias renováveis, particularmente solar e hídrica. Em 2021, a participação de fontes renováveis na produção de energia aumentou em 5%, passando de 10% para 15%, mas ainda está aquém da meta de 30% estabelecida para 2030 (Ministério da Terra e Ambiente, 2021).

O elevado consumo energético do Banco de Moçambique, que em 2023 atingiu 1.200 MWh e resultou em emissões de aproximadamente 600 toneladas de CO₂, pode ser explicado por diversos fatores interligados à sua operação. (*BANCO DE MOÇAMBIQUE*, 2023). Como ocorre com muitas instituições financeiras, o banco depende de uma infraestrutura tecnológica intensiva, que inclui servidores, sistemas de segurança, equipamentos de informática e sistemas de climatização. Esses dispositivos demandam grandes quantidades de energia para garantir o funcionamento contínuo e eficiente das operações, justificando o consumo elevado de eletricidade (Banco de Moçambique, 2022).

Além disso, o contexto energético em Moçambique, marcado por desafios no fornecimento estável de eletricidade, contribui para o aumento do consumo. A infraestrutura elétrica do país, que ainda enfrenta instabilidade, leva o banco a recorrer ao uso de geradores a diesel, o que não só eleva o consumo de energia como também

aumenta as emissões de CO₂ (IEMA, 2020). A modernização dos serviços bancários, incluindo a digitalização e a expansão das agências, também resulta em maior demanda energética para suportar esse crescimento (Banco Mundial, 2023). Para mitigar as emissões geradas, o Banco de Moçambique adota a prática de compensação de carbono por meio da compra de créditos de carbono. Embora essa estratégia contribua para iniciativas de sustentabilidade, ela implica também em um aumento nos custos operacionais da instituição (Banco de Moçambique, 2022; IEMA, 2020; Banco Mundial, 2023).

A ausência de um sistema eficiente de monitoria e otimização do consumo de energia no Banco de Moçambique resulta em desperdícios contínuos, o que limita a capacidade da instituição de adotar práticas mais sustentáveis. Estes desperdícios são principalmente originados pelo uso excessivo de sistemas de climatização (ar condicionado), iluminação desnecessária e equipamentos que permanecem ligados sem necessidade. Actualmente, cerca de 7% do orçamento operacional do banco é destinado ao pagamento de despesas energéticas, uma percentagem significativa que poderia ser consideravelmente reduzida com a adoção de tecnologias que permitam uma melhor gestão do consumo de energia. A implementação de sistemas como iluminação inteligente, controle automatizado de temperatura e o uso de fontes de energia renováveis seriam medidas eficazes para minimizar o desperdício e reduzir os custos operacionais (Banco de Moçambique, 2022; IEMA, 2020).

Com a introdução de tecnologias mais avançadas e um sistema de gestão energética adequado, o banco poderia melhorar substancialmente a eficiência do seu consumo de energia, reduzindo os custos e as emissões de CO₂. Tais tecnologias, além de promoverem um controle mais eficaz do consumo, também possibilitam a identificação de áreas em que é possível economizar, como a automatização do desligamento de sistemas quando não são necessários, tornando a operação mais sustentável e rentável (Banco Mundial, 2023; IEMA, 2020).

A adoção de soluções de Internet das Coisas (IoT) representa uma oportunidade estratégica para o Banco de Moçambique enfrentar os seus desafios energéticos.

Estudos indicam que sistemas de IoT podem reduzir o consumo de energia em até 30% em edifícios comerciais (Smith, 2022). Para o banco, isso significa não apenas uma redução nos custos energéticos, mas também uma queda significativa nas emissões de CO₂, estimada em 180 toneladas por ano, com base no consumo actual.

Além de reduzir o impacto ambiental, a implementação de sistemas de IoT pode gerar economias financeiras consideráveis, estimadas em cerca de 15% do orçamento energético actual. Essas economias podem ser redirecionadas para outras áreas prioritárias, como inovação e segurança. Assim, a introdução de um sistema de monitoria baseado em IoT oferece uma solução prática para melhorar a eficiência energética e promover a sustentabilidade no Banco de Moçambique, alinhando-se às políticas energéticas nacionais.

1.1.1. Definição do problema

O Banco de Moçambique enfrenta desafios significativos relacionados ao consumo energético em suas instalações. A necessidade de manter operações contínuas, segurança, sistemas de TI, iluminação e climatização resulta em um alto uso de energia, o que contribui para grandes emissões de gases de efeito estufa (GEE). Essa ineficiência energética leva a elevados custos operacionais e a um impacto negativo na sustentabilidade ambiental do banco.

Actualmente, o banco não possui um sistema eficiente e integrado para monitorar e otimizar o uso de energia em seu edifício. A falta de um sistema de monitoria e optimização baseado em IoT (Internet das Coisas) agrava os custos operacionais e obriga a instituição a comprar créditos de carbono para compensar suas emissões de GEE. Embora essa medida apoie projetos de sustentabilidade, ela aumenta ainda mais os custos operacionais.

Dados recentes indicam que o consumo energético do banco é de aproximadamente 1.200 MWh por ano, resultando em emissões de cerca de 600 toneladas de CO₂ anualmente (Agência Internacional de Energia, 2023). Estudos mostram que a implementação de sistemas de gestão de energia baseados em IoT pode reduzir o

consumo energético em até 30%, resultando em significativas economias financeiras e redução das emissões de GEE (Smith, 2022).

1.1.2. Pergunta de pesquisa

O presente trabalho será orientado pela seguinte pergunta de pesquisa: ***Como a implementação de um modelo baseado em IoT pode contribuir para a monitoria e optimização do consumo energético no Banco de Moçambique, promovendo a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e a eficiência energética?***

1.2. Objectivos

1.2.1. Objectivo Geral

- ✓ Propor um Sistema como Modelo de Monitoria e Optimização de Consumo Energético em Edifícios com Base em IoT para Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE).

1.2.2. Objectivos Específico:

- ✓ Descrever o consumo energético actual do Banco de Moçambique e seu impacto nas emissões de gases de efeito estufa.
- ✓ Comparar soluções de IoT existentes para a optimização do consumo energético em edifícios, propondo a mais adequada para as necessidades identificadas.
- ✓ Propor um protótipo funcional do sistema de IoT para monitoria e optimização do consumo energético em edifícios.
- ✓ Identificar os benefícios do sistema de IoT para monitoria e optimização do consumo energético em edifícios, com foco na redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e na promoção da eficiência energética.

1.3. Metodologia

1.3.1. Classificação do Trabalho

a) Quanto à natureza

Classifica-se como uma pesquisa aplicada, pois busca uma solução prática para um problema específico: o consumo excessivo de energia e as emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Banco de Moçambique. A pesquisa aplicada, segundo Gil (2019), é caracterizada pela busca de soluções que possam ser directamente implementadas na realidade, diferindo da pesquisa pura, cujo foco é o desenvolvimento teórico. Neste contexto, o estudo não se limita à análise do problema, mas propõe uma solução concreta através da implementação de um sistema de monitoria e optimização de consumo energético baseado em IoT, entretanto, Foram analisadas as características energéticas do Banco de Moçambique e, com base nisso, elaborou-se um modelo de monitoria e optimização de consumo energético, utilizando tecnologias IoT. A solução proposta visa a implementação prática para redução de consumo e emissões.

O desenvolvimento deste modelo visa não apenas a redução dos custos operacionais do banco, mas também a diminuição das emissões de GEE, alinhando-se às metas globais de sustentabilidade. A aplicação do conceito de pesquisa aplicada mostra-se adequada, pois os resultados esperados podem ser replicáveis e escaláveis para outras instituições que enfrentam desafios similares. Ao propor o uso de tecnologias IoT, a pesquisa aplicada estabelece um vínculo directo entre a teoria e a prática, sendo orientada para a resolução do problema energético no edifício em estudo.

Por meio da análise detalhada das condições energéticas actuais do Banco de Moçambique, a pesquisa aplicada oferece *insights* que poderão ser utilizados pelos gestores da instituição para a implementação de estratégias mais eficientes de consumo de energia. Dessa forma, o trabalho contribui directamente para a melhoria da gestão de recursos e para a promoção da sustentabilidade ambiental.

b) Quanto à abordagem

A abordagem escolhida é qualitativa, uma vez que o foco está em compreender as dinâmicas, práticas e percepções relacionadas ao consumo energético e à adopção de soluções IoT no contexto do Banco de Moçambique. Segundo Creswell (2014), a abordagem qualitativa é ideal quando se busca explorar em profundidade um fenómeno, entendendo-o dentro de um contexto específico. No caso em questão, a pesquisa qualitativa permite não só investigar os padrões de consumo energético, mas também avaliar a disposição e as barreiras à implementação de novas tecnologias dentro da instituição.

Foram realizadas entrevistas semi-estruturadas com os gestores de manutenção e de TI do banco para compreender o funcionamento actual dos sistemas energéticos, bem como identificar obstáculos institucionais e comportamentais à adopção de novas tecnologias. Através de uma análise de conteúdo das entrevistas, foi possível identificar áreas críticas de intervenção e oportunidades para a optimização de energia com base nas percepções e experiências dos entrevistados.

c) Quanto aos objectivos

No que diz respeito aos objectivos, este estudo enquadra-se como uma pesquisa exploratória e descritiva. A pesquisa exploratória, de acordo com Marconi e Lakatos (2017), é utilizada quando o problema de pesquisa é pouco explorado ou conhecido, e o objectivo é adquirir familiaridade com o fenómeno. No contexto do Banco de Moçambique, o uso de IoT para optimização energética é um campo relativamente novo, o que justifica a necessidade de uma abordagem exploratória para identificar possíveis soluções e caminhos de implementação.

Além disso, a pesquisa é descritiva, pois se propõe a caracterizar o consumo energético do banco e as suas emissões de GEE de maneira detalhada. Através de uma análise dos dados de consumo fornecidos pelo departamento de manutenção, foi possível descrever de forma precisa o padrão de uso de energia, bem como os principais pontos

críticos onde ocorrem desperdícios. O aspecto descritivo complementa o exploratório, oferecendo uma visão clara do cenário actual antes de propor as soluções.

O objectivo principal de descrever e analisar os padrões de consumo energético foi alcançado por meio de relatórios detalhados e de entrevistas, permitindo uma compreensão mais ampla do problema. Essa combinação de objectivos exploratórios e descritivos confere à pesquisa uma base sólida para a posterior implementação das soluções IoT propostas.

d) Quanto aos procedimentos técnicos

Foram utilizados métodos como a pesquisa bibliográfica e o estudo de caso. Segundo Gil (2019), a pesquisa bibliográfica é fundamental para o levantamento de teorias e práticas já existentes sobre o tema em estudo, servindo como base para a construção de um referencial teórico robusto. Este estudo beneficiou de uma extensa revisão bibliográfica sobre o uso de IoT para a monitoria de consumo energético, bem como sobre práticas de eficiência energética em instituições financeiras.

Por outro lado, o estudo de caso permitiu uma análise aprofundada do contexto específico do Banco de Moçambique, onde foram analisados os dados energéticos da instituição, bem como as políticas internas de gestão de energia. Yin (2018) defende que o estudo de caso é uma estratégia metodológica apropriada para explorar fenómenos complexos em ambientes reais, como o uso de energia em grandes instituições. Este estudo de caso foi particularmente relevante para captar as particularidades do consumo energético no banco, desde a iluminação até aos sistemas de TI e climatização.

A conjugação da pesquisa bibliográfica com o estudo de caso fortaleceu a abordagem metodológica, permitindo não só uma compreensão teórica do tema, mas também uma análise empírica detalhada do caso específico em questão. Esses procedimentos técnicos proporcionaram um entendimento profundo das causas e consequências do consumo energético excessivo no banco, preparando o terreno para a proposta de uma solução baseada em IoT

e) Quanto às técnicas de colecta e análise de dados

Para a colecta e análise de dados, utilizaram-se tanto dados primários quanto secundários. Os dados primários foram obtidos através de entrevistas semi-estruturadas com gestores Infraestrutura, P&E & Energy Performance e técnicos Energy Performance do banco, conforme recomendado por Yin (2018), que valoriza a importância de dados primários para a compreensão detalhada de fenómenos específicos. Estas entrevistas permitiram captar as percepções e experiências dos profissionais que lidam directamente com o consumo energético e com a manutenção das infra-estruturas do banco.

Os dados secundários foram recolhidos a partir de relatórios internos de consumo de energia e de documentos sobre a política ambiental da instituição. A análise desses dados permitiu uma visão mais objectiva e quantitativa do problema, complementando as informações qualitativas obtidas nas entrevistas. A técnica de análise de conteúdo foi aplicada às entrevistas, enquanto os dados quantitativos foram tratados através de análise descritiva, com o intuito de identificar padrões de consumo e correlacionar esses padrões com as práticas actuais de gestão de energia.

Essas técnicas de colecta e análise de dados, combinando fontes primárias e secundárias, proporcionaram uma visão abrangente do problema e permitiram a formulação de soluções fundamentadas em dados reais. O estudo seguiu uma abordagem integradora, onde a interpretação qualitativa dos dados foi complementada por uma análise quantitativa dos padrões energéticos, assegurando assim a fiabilidade dos resultados apresentados.

1.3.2. Metodologia de Desenvolvimento

A Metodologia Cascata, também conhecida como modelo Waterfall, é um dos métodos mais tradicionais e amplamente utilizados no desenvolvimento de software e gestão de projectos. Definido por vários autores, este modelo é caracterizado por uma abordagem linear e sequencial, onde cada fase do projecto deve ser concluída antes que a próxima possa começar. Segundo Pressman (2014), a Metodologia Cascata é baseada na ideia

de que o desenvolvimento deve fluir de maneira contínua para frente, como uma cascata, com uma clara separação entre as fases do ciclo de vida do software.

De acordo com Sommerville (2007), a Metodologia Cascata é um modelo de desenvolvimento onde o progresso é visto como um fluxo contínuo através de várias fases distintas. Cada fase do projeto depende da conclusão da fase anterior e serve como base para a próxima. Este modelo é ideal para projetos onde os requisitos são bem compreendidos desde o início e mudanças durante o desenvolvimento são mínimas.

O método é composto por várias fases que seguem uma ordem específica: Análise e Definição de Requisitos, Projeto de Sistema e Software, Implementação e Teste de Unidade, Integração e Teste de Sistema, e finalmente Operação e Manutenção (Sommerville, 2007). Cada uma dessas fases é crucial para o sucesso do projecto e deve ser concluída com cuidado e precisão antes de passar para a próxima.

A escolha da Metodologia Cascata para este trabalho foi fundamentada pela sua adequação à natureza académica do estudo e à necessidade de uma abordagem estruturada e ordenada. A abordagem Cascata permite um desenvolvimento metódico e previsível, o que é essencial para um projeto académico que requer uma execução rigorosa e uma documentação detalhada de cada fase do desenvolvimento.

- **Análise e Definição de Requisitos**

Nesta fase, o objectivo principal foi identificar e documentar todos os requisitos do sistema. Foi realizada uma análise detalhada das necessidades do Banco de Moçambique, incluindo a coleta de dados sobre o consumo de energia e as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Esta etapa envolveu entrevistas com stakeholders, revisão de documentos existentes e análise dos problemas atuais relacionados ao consumo energético. A definição clara dos requisitos é essencial para garantir que o sistema desenvolvido atenda às necessidades específicas e expectativas da instituição (Sommerville, 2007).

- **Projeto de Sistema e Software**

A fase de Projeto de Sistema e Software envolveu a criação da arquitetura do sistema baseado em IoT. Foi desenvolvido um plano detalhado que incluía a definição da estrutura de dados, a descrição dos componentes do sistema e a especificação das interfaces de usuário. O design detalhado garantiu que todos os aspectos do sistema fossem planejados e documentados antes da implementação. Esta fase é crucial para assegurar que a solução proposta seja funcional e esteja alinhada com os requisitos estabelecidos (Pressman, 2014).

- **Implementação e Teste de Unidade**

Durante a fase de Implementação e Teste de Unidade, o sistema foi desenvolvido com base no projeto criado. Os componentes do sistema foram codificados e testados individualmente para garantir que cada parte funcionasse conforme esperado. O teste unitário é uma etapa fundamental para identificar e corrigir problemas de forma precoce, antes de integrar o sistema completo. Esta fase ajuda a assegurar que o software esteja livre de erros e pronto para a próxima etapa de integração (Sommerville, 2007).

- **Integração e Teste de Sistema**

Na fase de Integração e Teste de Sistema, todos os módulos desenvolvidos foram combinados e testados como um sistema integrado. O objectivo foi verificar se o sistema atendia aos requisitos definidos e funcionava corretamente em conjunto. Os testes abrangentes foram realizados para garantir que todos os aspectos funcionais do sistema estivessem de acordo com as especificações e sem erros. Após a conclusão desses testes, o sistema foi preparado para a entrega final ao cliente (Pressman, 2014).

- **Operação e Manutenção**

A fase de Operação e Manutenção envolveu a instalação do sistema e o início de sua operação real. Esta etapa inclui a correção de erros não identificados anteriormente e a adaptação do sistema às novas necessidades que possam surgir. A manutenção contínua assegura que o sistema permaneça eficaz e relevante ao longo do tempo, respondendo a quaisquer problemas ou atualizações necessárias. Esta fase é vital para garantir a longevidade e a funcionalidade contínua do sistema (Sommerville, 2007).

A Metodologia Cascata foi escolhida devido à sua abordagem estruturada e sequencial, que é ideal para projetos académicos que requerem uma execução organizada e metódica. O modelo proporciona um caminho claro e documentado para o desenvolvimento, assegurando que todas as fases sejam completadas de forma ordenada e eficiente.

1.4. Estrutura do Trabalho

Capítulo 1 – Introdução: Estabelece o contexto e os fundamentos do trabalho, introduzindo o problema de consumo energético no Banco de Moçambique e a necessidade de uma solução eficaz baseada em IoT. Este capítulo apresenta os objectivos do estudo, a relevância da pesquisa e a justificativa para a escolha da metodologia. Também define claramente o problema e formula as perguntas de pesquisa, preparando o leitor para a abordagem e análise subsequentes.

Capítulo 2 - Revisão da Literatura: é feita uma revisão detalhada da literatura existente sobre os temas relevantes para o estudo, como gestão de energia, tecnologias de Internet das Coisas (IoT), e metodologias de desenvolvimento de software. Este capítulo explora conceitos teóricos, modelos e práticas actuais, fornecendo uma base sólida para o entendimento das soluções existentes e a identificação de lacunas na pesquisa que o estudo pretende preencher.

Capítulo 3 - Local de Estudo: Apresenta o Local de estudo do Banco de Moçambique, detalhando a situação atual do consumo energético e suas implicações. Inclui uma análise dos desafios enfrentados pelo banco e o impacto ambiental associado. Este capítulo contextualiza o problema específico do banco e justifica a necessidade da proposta de uma solução baseada em IoT, preparando o terreno para o desenvolvimento da proposta.

Capítulo 4 - Proposta de Solução: é apresentada a proposta de solução para a monitoria e otimização do consumo energético, baseada em tecnologias de IoT. Este capítulo descreve a solução proposta, incluindo a arquitetura do sistema, os

componentes tecnológicos envolvidos, e a forma como o sistema abordará os problemas identificados. A proposta é elaborada com base nas análises e lacunas identificadas na revisão da literatura e no Local de estudo.

Capítulo 5 – Desenvolvimento: Cobre o desenvolvimento e implementação da solução proposta. Detalha o processo de criação do protótipo, incluindo a codificação, testes e ajustes necessários. Este capítulo descreve as fases de desenvolvimento, os desafios encontrados e as soluções implementadas para garantir que o sistema atenda aos requisitos e objetivos estabelecidos. Fornece uma visão prática da aplicação da teoria e metodologias discutidas anteriormente.

Capítulo 6 – Conclusão: Ecerra o trabalho com uma síntese dos principais resultados e descobertas. Este capítulo resume os achados do estudo, avalia a eficácia da solução implementada e apresenta as conclusões gerais. Também discute as implicações dos resultados, as limitações do estudo, e sugere recomendações para futuras pesquisas e possíveis melhorias no sistema proposto.

Capítulo 2 - Revisão da Literatura

2.1. Eficiência Energética e Desenvolvimento Económico

A eficiência energética desempenha um papel crucial no desenvolvimento económico sustentável, especialmente em sectores que dependem fortemente de infraestrutura energética, como o sector financeiro. A adopção de práticas de eficiência energética contribui não apenas para a redução de custos operacionais, mas também para o aumento da competitividade das organizações, alinhando-as com os princípios de sustentabilidade e redução de emissões de gases de efeito de estufa (GEE) (Amin, 2022). No contexto do Banco de Moçambique, a implementação de soluções energéticas eficientes pode gerar poupanças significativas e reforçar a resiliência institucional face às flutuações nos custos energéticos, que impactam directamente a operação de edifícios administrativos e centros de dados.

Estudos recentes têm demonstrado a relação positiva entre eficiência energética e desempenho económico das empresas. De acordo com Sorrell et al. (2021), melhorias na eficiência energética resultam não apenas na redução dos custos com energia, mas também aumentam a margem de lucro e abrem espaço para maior investimento em inovação e melhoria da infraestrutura tecnológica. Para o Banco de Moçambique, tal abordagem poderia significar não apenas uma melhoria no controle de custos, mas também a possibilidade de investir em novos serviços e tecnologias que aumentem a competitividade da instituição. Essa eficiência energética é essencial para a gestão responsável dos recursos e a sustentabilidade financeira a longo prazo.

A importância da eficiência energética estende-se a diversos sectores da economia. No contexto corporativo, especialmente no sector bancário e financeiro, a adopção de tecnologias de eficiência energética pode ter um impacto directo na redução dos custos operacionais. Segundo Xie et al. (2022), edifícios corporativos com práticas energéticas eficientes não só geram uma redução de custos com eletricidade, mas também aumentam a imagem corporativa perante os stakeholders, promovendo uma imagem positiva de responsabilidade ambiental. No caso do Banco de Moçambique, a implementação de soluções energéticas mais eficientes poderia também ajudar a

otimizar o uso de energia nos centros de dados e reduzir custos com a manutenção das infraestruturas.

No sector de telecomunicações, que muitas vezes está interligado com o sector bancário devido ao aumento da dependência de sistemas digitais e conectividade, a eficiência energética tornou-se uma prioridade. Estudos como o de Smith et al. (2020) destacam que a crescente demanda por serviços digitais e conectividade intensificou a pressão sobre o consumo energético, com impactos diretos nos custos operacionais das empresas de telecomunicações. No entanto, soluções baseadas em Internet das Coisas (IoT), como sensores de monitoramento de energia, têm demonstrado ser eficazes na gestão do consumo energético, tanto em redes de comunicação como em centros de dados (Zhao et al., 2023).

Além dos benefícios económicos imediatos, a eficiência energética também oferece vantagens a longo prazo, alinhando-se com as metas globais de sustentabilidade e mitigação das mudanças climáticas. A transição para práticas energéticas mais eficientes reduz a dependência de fontes de energia não renováveis, diminuindo a exposição às flutuações nos preços dos combustíveis fósseis e aumentando a segurança energética. De acordo com um estudo da International Energy Agency (IEA, 2023), a implementação generalizada de tecnologias de eficiência energética tem o potencial de reduzir as emissões globais de CO₂ e contribuir para a adaptação das economias a um futuro mais sustentável.

A adoção de práticas eficientes de energia também pode ter um impacto positivo na imagem das instituições financeiras perante os seus clientes, especialmente aqueles que cada vez mais valorizam práticas responsáveis e sustentáveis. Para o Banco de Moçambique, isso não só melhoraria a eficiência interna, mas também promoveria a instituição como líder no compromisso com a sustentabilidade e inovação tecnológica no sector financeiro.

2.2. Norma ISO 50001: Gestão de Energia

2.2.1. Gestão de Energia

A gestão de energia nas organizações é um processo estratégico que visa a optimização do consumo de energia e a redução dos custos associados a este recurso. Este processo envolve a implementação de práticas sistemáticas que asseguram o uso eficiente da energia, desde o fornecimento até à sua utilização final. O principal objectivo da gestão de energia é melhorar o desempenho energético das empresas, garantindo que os recursos energéticos sejam utilizados da forma mais eficiente possível, sem prejudicar a qualidade dos processos (GONÇALVES, 2017). Além disso, a gestão de energia está intimamente relacionada à sustentabilidade, uma vez que contribui para a redução dos impactos ambientais.

A gestão de energia requer um conjunto de actividades organizacionais, como o monitoramento contínuo do consumo energético, a implementação de medidas correctivas e a melhoria dos processos produtivos. A adopção de tecnologias avançadas, como sistemas de medição e monitoramento remoto, é uma das formas pelas quais as empresas podem obter um controlo mais preciso sobre o seu consumo. A avaliação constante do desempenho energético também permite identificar pontos de ineficiência e tomar as acções necessárias para corrigi-los, promovendo economia e sustentabilidade a longo prazo (WEIDONG et al., 2011).

As práticas de gestão de energia podem ser implementadas de forma isolada ou integradas com outras estratégias de sustentabilidade, como a gestão de resíduos e a redução das emissões de gases de efeito estufa. Implementar uma cultura organizacional voltada para a eficiência energética é fundamental para garantir que todos os níveis da organização estejam comprometidos com as metas estabelecidas. As organizações que adoptam práticas de gestão de energia podem, também, obter certificações e reconhecimento a nível nacional e internacional, o que pode representar uma vantagem competitiva importante no mercado (SCHULZE et al., 2016).

2.2.2. Sistemas de Gestão de Energia

Os sistemas de gestão de energia são essenciais para garantir que as práticas de eficiência energética sejam implementadas de forma eficaz dentro das organizações. Estes sistemas permitem identificar, analisar e controlar as fontes de consumo energético, criando um fluxo contínuo de monitoria e ajustes necessários para otimizar o uso da energia. A implementação de um Sistema de Gestão de Energia (SGE) permite que as organizações integrem as questões energéticas nos seus processos diários, com um impacto positivo na redução de custos e no cumprimento de requisitos ambientais (WEIDONG et al., 2011).

Esses sistemas devem ser apoiados por ferramentas de medição adequadas, como sensores e softwares especializados, que permitem monitorar o consumo energético em tempo real. Além disso, facilitam a colecta de dados e a análise de tendências, permitindo que a organização tome decisões informadas sobre onde e como reduzir o seu consumo de energia. A documentação apropriada de todos os processos e a realização de auditorias internas regulares são fundamentais para garantir a conformidade com as políticas e os objectivos energéticos estabelecidos (GONÇALVES, 2017). A melhoria contínua, um princípio central da norma ISO 50001, exige que as organizações se adaptem constantemente às novas tecnologias e práticas de eficiência energética.

Um sistema eficaz de gestão de energia não só ajuda a reduzir os custos operacionais, mas também melhora a imagem da organização perante os seus clientes e parceiros, demonstrando o compromisso com a sustentabilidade e a responsabilidade ambiental. As empresas que implementam esses sistemas podem também obter vantagens regulatórias, ao garantir que estão em conformidade com as leis e normas ambientais aplicáveis. A implementação de práticas de monitoramento e controle é, portanto, uma das maneiras mais eficazes de garantir a sustentabilidade a longo prazo, além de contribuir para a redução das emissões de carbono e outros impactos ambientais (SOARES, 2015).

2.2.3. Norma ISO 50001:2011

A norma ISO 50001:2011, publicada pela International Organization for Standardization (ISO), oferece uma estrutura para que as organizações implementem um sistema de gestão de energia eficaz. O principal objectivo da norma é fornecer orientações claras para que as empresas possam melhorar o seu desempenho energético, reduzir o consumo de energia e os custos operacionais, ao mesmo tempo que diminuem os impactos ambientais. A ISO 50001 segue a mesma estrutura de outros sistemas de gestão, como a ISO 9001 (gestão da qualidade) e a ISO 14001 (gestão ambiental), permitindo uma fácil integração com outras práticas de sustentabilidade dentro das organizações (Zhang et al., 2020).

A implementação da norma envolve a definição de uma política energética clara, que deve ser aprovada pela alta direcção da organização. Esta política deve estabelecer metas específicas para melhorar a eficiência energética e garantir que todos os colaboradores estejam alinhados com os objectivos estabelecidos. A ISO 50001 também enfatiza a importância da medição e monitoramento do consumo energético, fornecendo orientações para a colecta de dados e a análise do desempenho energético, facilitando a tomada de decisões estratégicas para reduzir desperdícios e otimizar processos (GONÇALVES, 2017). Além disso, a norma destaca a necessidade de um treinamento contínuo dos funcionários para que todos compreendam os objectivos da empresa e saibam como contribuir para a melhoria do desempenho energético.

Organizações que implementam a ISO 50001 podem se destacar no mercado, demonstrando seu compromisso com a sustentabilidade e a responsabilidade ambiental. A conformidade com a norma pode servir como um diferencial competitivo, atraindo clientes e parceiros que buscam empresas comprometidas com a eficiência energética e a redução dos impactos ambientais. Além disso, a norma oferece um guia prático para reduzir os custos operacionais, melhorar a competitividade no mercado e cumprir com as regulamentações energéticas locais e internacionais (SOARES, 2015).

- **Requisitos da Norma ISO 50001:2011**

A norma ISO 50001:2011 segue o ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act), amplamente utilizado em sistemas de gestão. Este ciclo é essencial para garantir que as melhorias sejam contínuas e que o desempenho energético da organização seja monitorado e ajustado conforme necessário.

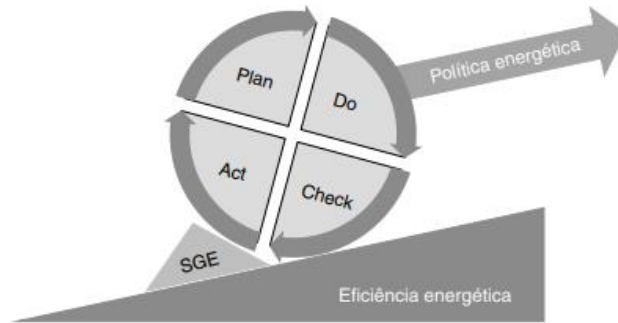


Figura 1: Melhoria Contínua do desempenho energético da organização, através da implementação da metodologia PDCA. Fonte: (SOARES 2015).

A primeira fase, "Plan" (Planejar), envolve a análise do consumo de energia, a definição de metas claras e o estabelecimento de um plano de acção para melhorar a eficiência energética. Nessa fase, é essencial que a alta direcção da organização esteja engajada e comprometida com a política energética e os objectivos de desempenho estabelecidos (WEIDONG et al., 2011).

Na fase "Do" (Executar), as acções planeadas devem ser implementadas. Isto inclui a realização de treinamentos, a instalação de tecnologias de monitoramento e a implementação de práticas de consumo eficiente de energia. A fase "Check" (Verificar) envolve o monitoramento constante do desempenho energético, com a colecta de dados que serão analisados para verificar se os objectivos estão sendo alcançados. Caso haja falhas ou desvios, devem ser feitas as correcções necessárias. Por fim, na fase "Act" (Agir), são tomadas as acções correctivas necessárias para garantir que o desempenho energético continue a melhorar, permitindo que o ciclo PDCA seja reiniciado e a melhoria seja contínua (SOARES, 2015).

A norma também exige o comprometimento da alta gestão na definição de uma política energética eficaz, que deve ser comunicada a todos os níveis da organização. Esse comprometimento é fundamental para garantir que todos os colaboradores compreendam a importância da gestão de energia e como suas ações podem contribuir para o alcance das metas estabelecidas. A comunicação e o treinamento contínuo são cruciais para o sucesso da implementação da ISO 50001, assegurando que as práticas de eficiência energética se integrem à cultura organizacional (GONÇALVES, 2017).

- **Sistemas de Monitoria Remoto dos Consumos Energéticos**

O uso de sistemas de monitoria remoto do consumo energético tem se tornado cada vez mais comum nas organizações, especialmente em grandes empresas e indústrias. Estes sistemas permitem monitorar e controlar o consumo de energia em tempo real, oferecendo dados precisos sobre os níveis de consumo em diferentes sectores e equipamentos. Com estas informações, é possível identificar rapidamente áreas onde o consumo está acima do esperado, permitindo a implementação de medidas correctivas imediatas para reduzir desperdícios (VALES, 2016).

Esses sistemas também ajudam a integrar os dados energéticos aos sistemas de gestão existentes, como os sistemas ERP (Enterprise Resource Planning), proporcionando aos gestores uma visão mais abrangente do desempenho energético da organização. A análise de dados em tempo real facilita a detecção de padrões de consumo e a antecipação de problemas, além de possibilitar ajustes automáticos nos sistemas de distribuição de energia. Este tipo de monitoramento é especialmente vantajoso para empresas que operam em várias instalações ou que têm equipamentos complexos que necessitam de atenção constante (GONÇALVES, 2017).

Além disso, os sistemas de monitoria remoto oferecem a vantagem de melhorar a eficiência energética sem a necessidade de grandes intervenções manuais. A automação do processo de monitoramento permite que as equipas de gestão de energia se concentrem em decisões estratégicas e em ações correctivas, em vez de realizar tarefas repetitivas de coleta e análise de dados. Esses sistemas também fornecem relatórios detalhados que podem ser usados para avaliar o desempenho energético ao

longo do tempo, identificar tendências e otimizar os processos de consumo. Com a implementação de soluções de monitoramento remoto, as organizações podem obter uma visão clara e precisa da sua pegada energética, permitindo a tomada de decisões informadas para melhorar o seu desempenho a longo prazo (WEIDONG et al., 2011).

2.3. Emissões de CO2

As emissões de dióxido de carbono (CO₂) são um factor central no impacto ambiental das empresas, sendo um dos principais responsáveis pelas alterações climáticas globais. O CO₂ é um dos gases de efeito estufa que, quando liberado em grandes quantidades, agrava o aquecimento global, afectando negativamente os ecossistemas e as condições de vida no planeta. De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA, 2023), o sector industrial é responsável por uma parte significativa das emissões globais de CO₂, o que reforça a necessidade urgente de adoptar práticas empresariais mais sustentáveis e menos poluentes.

A luta contra o aumento das emissões de CO₂ deve ser uma prioridade para as empresas em Moçambique, onde o sector industrial está em crescimento, mas ainda depende em grande parte de fontes de energia tradicionais e poluentes. A eficiência energética surge como uma das principais estratégias para reduzir as emissões. Através da adopção de tecnologias mais eficientes e processos produtivos otimizados, as empresas podem reduzir o seu consumo de energia e, conseqüentemente, a quantidade de CO₂ emitido. A utilização de fontes de energia renováveis, como solar e eólica, tem também se mostrado uma solução eficaz. Estas fontes são mais limpas e sustentáveis, permitindo que as empresas diminuam a sua dependência de combustíveis fósseis, que são uma das maiores fontes de emissão de CO₂ (KEENAN et al., 2022).

A gestão adequada dos resíduos também desempenha um papel fundamental na redução das emissões de CO₂. A reciclagem e o reaproveitamento de materiais ajudam a reduzir a quantidade de resíduos enviados para aterros, que, ao se decompor, emitem gases de efeito estufa, incluindo o CO₂. A implementação de práticas de economia circular nas empresas pode reduzir significativamente essas emissões, tornando os processos mais eficientes e menos poluentes (SMITH, 2021). Além disso, práticas de

transporte sustentável, como o incentivo ao uso de veículos eléctricos e transporte público, podem diminuir as emissões associadas à logística e ao transporte de mercadorias e pessoas.

Apesar das várias iniciativas para reduzir as emissões, algumas continuam sendo inevitáveis devido à natureza das operações industriais. Nesse sentido, a compensação de emissões torna-se essencial. Investir em projectos de reflorestamento ou em tecnologias de captura de carbono pode ajudar a neutralizar as emissões de CO₂. Em Moçambique, a promoção de projectos como a recuperação de áreas degradadas e a expansão de florestas tem um potencial significativo para contribuir com a redução das emissões e ajudar no cumprimento das metas climáticas globais (BROWN, 2022). A transparência é também crucial, e as empresas devem ser responsabilizadas por suas emissões, com a publicação de relatórios periódicos sobre suas emissões de CO₂, o que ajuda a garantir o cumprimento das normas ambientais e a construção de uma imagem mais sustentável (SMITH, 2021).

A questão das emissões de CO₂ também tem repercussões locais em Moçambique, particularmente nas áreas urbanas, onde a queima de combustíveis fósseis, especialmente na indústria e no transporte, contribui para a poluição do ar. Isso não só agrava o problema das alterações climáticas, como também tem um impacto directo na saúde pública. Estudos demonstram que a exposição ao CO₂ e a outros poluentes atmosféricos pode levar a doenças respiratórias e cardiovasculares, afectando a qualidade de vida das populações que vivem nas proximidades de fontes de emissão, como fábricas e áreas industriais (WHO, 2022). Com o crescimento das cidades em Moçambique, é urgente implementar políticas que reduzam essas emissões e melhorem a qualidade do ar, protegendo assim a saúde da população.

Além disso, o impacto económico das emissões de CO₂ não pode ser ignorado. O aumento das emissões contribui para as mudanças climáticas, que resultam em eventos climáticos extremos, como secas, inundações e ciclones, que têm um efeito devastador na economia de Moçambique. Esses eventos podem causar danos a infra-estruturas, interromper a produção agrícola e aumentar os custos com seguros e reparações. A

adaptação e mitigação das emissões de CO₂ são, portanto, essenciais para garantir a estabilidade económica e a resiliência das comunidades locais (WORLD BANK, 2023).

Finalmente, o aumento das emissões de CO₂ tem um impacto profundo na biodiversidade de Moçambique. O aquecimento global e as alterações climáticas provocadas pelo aumento das emissões de gases de efeito estufa afectam directamente os habitats naturais e os ecossistemas do país. A perda de biodiversidade compromete a capacidade dos ecossistemas de fornecerem serviços vitais, como a regulação do clima, o fornecimento de água e alimentos, e a polinização, fundamentais para a sobrevivência humana e para as economias locais (CBD, 2023). Em Moçambique, onde a biodiversidade é um recurso crucial, a redução das emissões de CO₂ torna-se uma prioridade não apenas para mitigar os efeitos das mudanças climáticas, mas também para proteger os recursos naturais que sustentam o país.

2.4. Internet das Coisas (IoT)

A IoT refere-se à ideia de conectar objectos físicos do nosso quotidiano, como electrodomésticos, móveis, veículos, entre outros, à Internet, de forma a que estes possam ser monitorizados e controlados remotamente. Estes dispositivos "inteligentes" são identificados por meio de um endereço IP, o que lhes permite enviar e receber dados através de redes como RFID, LANs sem fio, ou outras tecnologias de comunicação (Patel & Patel, 2016). Assim, a IoT torna possível a criação de novas aplicações, incluindo a monitorização de energia, segurança de transporte e a automação de edifícios (Patil et al., 2012).

O número de dispositivos conectados à Internet, como sensores e máquinas, está a crescer rapidamente. De acordo com o relatório de IoT Analytics (2018), prevê-se que o número de dispositivos conectados aumente cerca de 10% por ano até 2025. Em 2020, estima-se que o número de dispositivos IoT possa ultrapassar os 21,5 mil milhões. Este crescimento exponencial da IoT é impulsionado pela crescente digitalização de vários sectores, como a indústria, saúde, agricultura e as cidades inteligentes, que procuram melhorar a eficiência e a sustentabilidade.

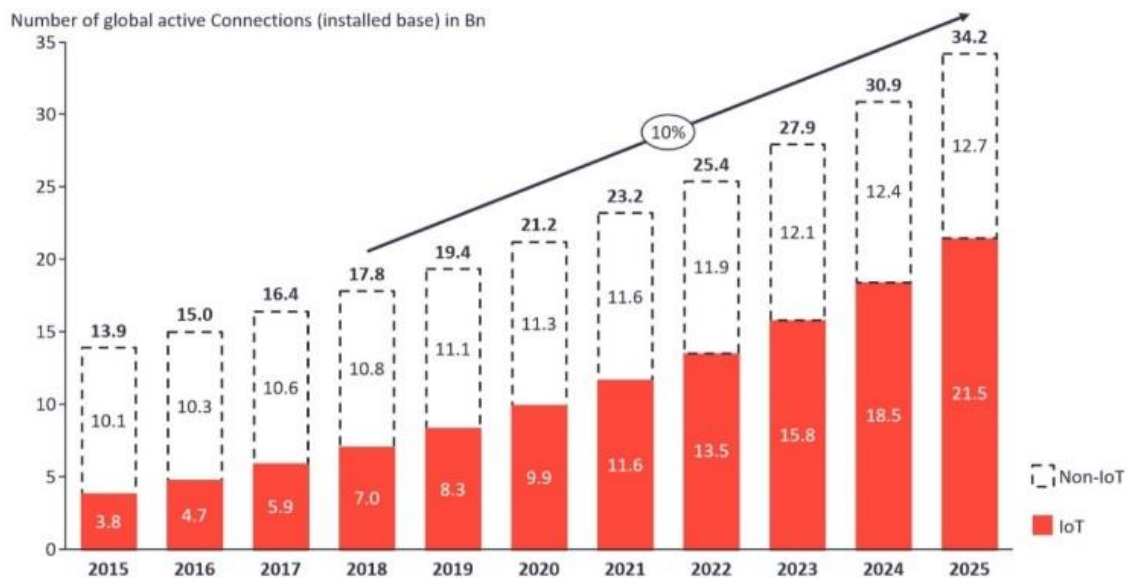


Figura 2: Número de dispositivos de IoT conectados 2015-2025

Fonte: IoT Analytics (2018)

O impacto da IoT nas economias e nas sociedades é profundo. Embora os benefícios sejam visíveis na otimização de processos e no aumento da eficiência, a gestão dos grandes volumes de dados gerados pelos dispositivos IoT continua a ser um grande desafio. Em Moçambique, onde as infra-estruturas digitais ainda estão a evoluir, é fundamental que as empresas e os governos invistam na criação de infra-estruturas adequadas para gerir essa grande quantidade de dados e assegurar a sua utilização eficiente.

2.4.1. Arquitectura da IoT

A arquitectura da IoT é composta por várias camadas, cada uma com uma função específica para o bom funcionamento do sistema. A organização em camadas ajuda a estruturar a complexidade dos sistemas IoT, facilitando a integração e gestão dos dispositivos conectados, bem como o processamento dos dados. Cada camada desempenha um papel crucial para garantir que os dados gerados sejam capturados, processados e apresentados de forma útil e eficiente para o utilizador.

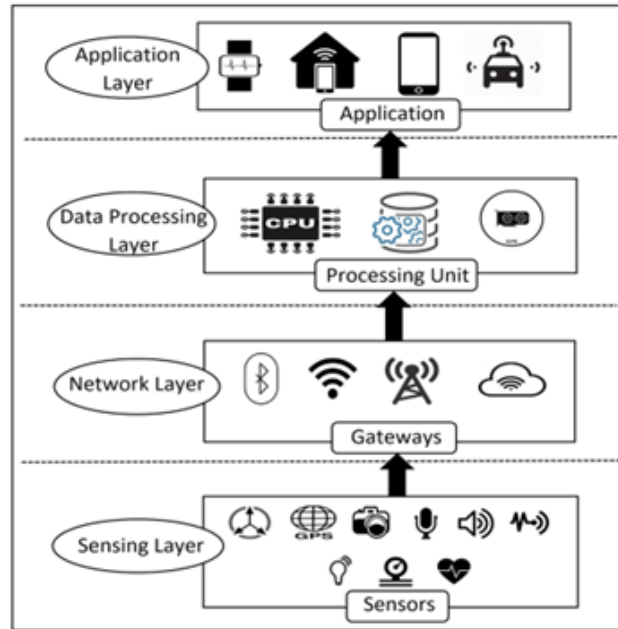


Figura 3: Arquitetura de Internet das Coisas

Fonte: Joan (2018).

A primeira camada é a camada física, que é composta por sensores e actuadores. Os sensores têm a função de recolher dados sobre o ambiente físico, como a temperatura, a luminosidade, a humidade ou o movimento. Esses dados são essenciais para monitorar e controlar processos em tempo real. Por exemplo, em sistemas de iluminação pública, um sensor de luminosidade pode detectar que a luz natural diminuiu e, automaticamente, ativar as luzes de rua (Joan, 2018). Já os actuadores são responsáveis por gerar uma resposta a essas informações, como ligar uma luz ou ajustar a temperatura de um ambiente, conforme o necessário.

A camada de gateway é responsável por fazer a conversão dos dados recebidos, geralmente em formato analógico, para um formato digital, que possa ser entendido e processado pelos sistemas centrais. Os dados que provêm dos sensores necessitam de ser preparados para serem encaminhados para análise em sistemas de computação, e o gateway facilita esta comunicação, utilizando redes sem fio, LANs ou outras formas de transmissão de dados (Stack, 2018). Esta camada é essencial, pois ajuda a evitar a

sobrecarga de largura de banda nas infra-estruturas centrais, processando os dados localmente, quando possível.

A camada de processamento é onde a maior parte do processamento de dados ocorre. Os dados colectados são enviados para sistemas de computação, onde são analisados e processados. O processamento local, também conhecido como computação na borda, é utilizado para reduzir o volume de dados a serem enviados para os data Centers, minimizando a carga nas infra-estruturas centrais (Joan, 2018). Após o processamento, os dados são enviados para a camada de aplicação, que é onde os utilizadores interagem com o sistema. Nesta camada, são criadas interfaces para visualizar os dados e controlar os dispositivos IoT, como ajustar configurações de temperatura ou aceder a relatórios sobre o estado dos dispositivos.

2.4.2. Desafios e Oportunidades da IoT

A Internet das Coisas, apesar de ser uma tecnologia com grande potencial para transformar diversos sectores da economia e da sociedade, enfrenta vários desafios, especialmente em países em desenvolvimento, como Moçambique. Um dos maiores obstáculos diz respeito à segurança cibernética. Como a IoT envolve a conexão de dispositivos variados à Internet, os sistemas se tornam vulneráveis a ataques cibernéticos, como roubo de dados, interrupção de serviços e exploração de falhas nos dispositivos conectados. Segundo Al-Fuqaha et al. (2015), a natureza descentralizada e expansiva da IoT torna a gestão da segurança mais complexa. Em países como Moçambique, onde a infra-estrutura de segurança cibernética ainda está em desenvolvimento, isso representa um risco significativo. Empresas e governos precisam investir em soluções robustas de segurança, bem como em políticas públicas que promovam a protecção de dados e a integridade dos sistemas.

Outro desafio importante que a IoT enfrenta é a questão da interoperabilidade. A IoT envolve uma vasta gama de dispositivos, de diferentes fabricantes, com protocolos de comunicação e plataformas diversas. Isso pode dificultar a integração e a colaboração entre dispositivos, uma vez que muitos não compartilham os mesmos padrões de comunicação. Gubbi et al. (2013) destacam que a falta de um padrão universal para a

comunicação entre dispositivos pode levar a altos custos de implementação e manutenção, além de limitar a escalabilidade das redes IoT. Para superar esse desafio, é necessário o desenvolvimento de padrões abertos que garantam a interoperabilidade entre os diferentes dispositivos e plataformas, facilitando a integração de novas tecnologias e garantindo a expansão da IoT de forma sustentável e eficiente.

Apesar desses desafios, a IoT também oferece várias oportunidades para Moçambique e para os países em desenvolvimento em geral. Um sector chave que pode se beneficiar imensamente da IoT é a agricultura. A implementação de sensores IoT em campos agrícolas permite o monitoramento em tempo real das condições do solo, das colheitas e do clima, o que pode levar a uma gestão mais eficiente dos recursos e à optimização da produção. De acordo com Xu et al. (2020), a IoT pode promover uma agricultura de precisão, permitindo que os agricultores ajustem suas práticas de cultivo com base em dados reais, o que aumenta a produtividade e reduz o desperdício de recursos como água e fertilizantes. Em Moçambique, onde a agricultura é um pilar da economia, a adopção dessas tecnologias pode ter um impacto significativo no aumento da segurança alimentar e na redução da pobreza rural.

Outro sector com grande potencial para a aplicação da IoT é a saúde. A utilização de dispositivos IoT em hospitais e clínicas pode melhorar significativamente o monitoria remoto de pacientes, especialmente em áreas rurais onde o acesso aos serviços de saúde é limitado. Khan et al. (2018) afirmam que a IoT pode transformar o sector da saúde, permitindo o acompanhamento contínuo de pacientes e a realização de diagnósticos mais rápidos e precisos, além de optimizar o uso dos recursos de saúde. Em Moçambique, onde o sistema de saúde enfrenta desafios como a escassez de médicos e a sobrecarga de hospitais, a IoT pode ser uma solução para melhorar a eficiência no atendimento e garantir um cuidado mais personalizado e contínuo para os pacientes.

No contexto urbano, a mobilidade inteligente também apresenta uma grande oportunidade. Com o aumento da população nas grandes cidades e a crescente urbanização, sistemas de transporte inteligentes podem ajudar a optimizar o tráfego e

reduzir os congestionamentos. Sicari et al. (2015) destacam que, por meio da IoT, é possível integrar sensores em semáforos, ruas e veículos para colectar dados em tempo real, proporcionando informações para otimizar o fluxo de tráfego e reduzir a poluição. Para cidades como Maputo, onde o tráfego e a gestão do transporte são desafios diários, a IoT pode trazer soluções para uma mobilidade mais eficiente e sustentável.

Por fim, uma das maiores oportunidades oferecidas pela IoT é a transformação digital dos negócios. Empresas em Moçambique podem aproveitar a IoT para melhorar sua eficiência operacional, reduzir custos e oferecer novos serviços. Com o uso de dispositivos conectados, as empresas podem monitorar e otimizar suas operações em tempo real, melhorar a gestão da cadeia de suprimentos e oferecer produtos mais personalizados aos seus clientes. Zanella et al. (2014) enfatizam que a IoT pode contribuir para a inovação empresarial, criando novas oportunidades de negócios e novos modelos de negócios.

Embora os desafios da segurança cibernética, interoperabilidade e infra-estrutura ainda sejam barreiras significativas para a adopção da IoT, as oportunidades que a tecnologia oferece, especialmente nos sectores de agricultura, saúde, mobilidade e negócios, são consideráveis. Investir em educação, desenvolvimento de políticas públicas e infra-estrutura será fundamental para aproveitar todo o potencial da IoT em Moçambique.

2.4.3. Aplicações de IoT na Optimização Energética e Redução das Emissões de GEE em Edifícios

A Internet das Coisas (IoT) tem vindo a demonstrar um grande potencial para transformar a forma como os edifícios gerem o consumo de energia, especialmente quando se trata da redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE). As tecnologias baseadas em IoT permitem um monitoramento constante e eficiente dos sistemas energéticos em edifícios, promovendo uma gestão inteligente da energia e contribuindo para uma maior sustentabilidade ambiental. No contexto moçambicano, onde a eficiência energética se torna cada vez mais relevante devido ao crescente consumo de energia e aos impactos ambientais das emissões, a IoT surge como uma solução crucial.

a) **Monitoria do Consumo Energético em Tempo Real:** A IoT possibilita a implementação de sensores inteligentes em edifícios para monitorar o consumo de energia em tempo real. Estes dispositivos podem medir variáveis como a temperatura ambiente, luminosidade e uso de aparelhos eléctricos, permitindo que os gestores de edifícios identifiquem padrões de consumo e adoptem medidas para reduzir desperdícios. Por exemplo, sistemas de iluminação inteligente ajustam automaticamente a intensidade da luz com base na luminosidade natural, o que ajuda a reduzir o uso excessivo de energia eléctrica. Esta automação não só reduz os custos com energia, mas também contribui significativamente para a diminuição das emissões de GEE, uma vez que menos energia será consumida de fontes poluentes. Segundo Santos et al. (2023), essa abordagem tem sido implementada com sucesso em edifícios comerciais e residenciais, demonstrando uma redução significativa nas emissões.

b) **Eficiência Energética Através da Automação:** A automação, suportada pela IoT, é uma das soluções mais eficazes para melhorar a eficiência energética em edifícios. Sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC), por exemplo, podem ser automatizados para ajustar a temperatura interna com base na temperatura externa, evitando o consumo excessivo de energia para aquecer ou resfriar ambientes. Além disso, a climatização inteligente pode ser ajustada automaticamente para desligar ou reduzir a intensidade do sistema quando os espaços não estão ocupados, o que reduz o consumo desnecessário de energia. De acordo com Khan e Rahman (2021), a aplicação de tais soluções em edifícios tem gerado uma redução significativa no uso de energia, ao mesmo tempo que melhora a qualidade do ambiente interno e diminui a pegada de carbono.

c) **Integração com Fontes de Energia Renovável:** Em muitos edifícios, a integração com fontes de energia renováveis como a energia solar ou eólica tem se tornado cada vez mais comum. A IoT pode ser usada para monitorar e otimizar a produção e o consumo de energia destas fontes renováveis. Por exemplo, sistemas IoT podem ser implementados para armazenar energia solar gerada durante o dia em baterias, para ser utilizada à noite ou em dias nublados,

reduzindo assim a dependência de fontes de energia não renováveis. Além disso, a gestão inteligente da distribuição de energia dentro do edifício, coordenada por dispositivos IoT, assegura que a energia solar ou eólica seja direccionada de forma eficaz para os sistemas que mais necessitam, minimizando perdas e aumentando a eficiência. A redução do uso de combustíveis fósseis, que são grandes emissores de CO₂, é uma vantagem crucial desta integração, contribuindo directamente para a diminuição das emissões de GEE.

d) **Gestão de Água e Resíduos:** A aplicação da IoT também pode ser estendida à gestão de recursos hídricos e de resíduos dentro de edifícios, ajudando a reduzir o desperdício de água e a optimizar o consumo energético. Sensores IoT podem ser usados para monitorar a quantidade de água consumida, detectando vazamentos e ajustando automaticamente os sistemas de aquecimento de água. Além disso, os sistemas de gestão de resíduos também podem ser integrados com sensores IoT para monitorar a quantidade e o tipo de resíduos gerados, ajudando a promover a reciclagem e a redução do lixo enviado para aterros sanitários. A redução de resíduos e o uso mais eficiente da água também têm um impacto indirecto na diminuição das emissões de GEE, visto que a produção e o tratamento de água e resíduos frequentemente envolvem processos que emitem grandes quantidades de gases poluentes.

e) **Análise Preditiva para Eficiência Energética:** Outro aspecto importante da aplicação de IoT em edifícios é o uso de análise preditiva para optimizar o consumo energético. Com base em dados históricos de consumo, os sistemas IoT podem prever o uso de energia em períodos futuros e ajustar automaticamente os sistemas energéticos para reduzir o consumo durante picos de demanda ou condições climáticas extremas. Isso não só ajuda a equilibrar a oferta e a procura de energia dentro do edifício, mas também pode contribuir para reduzir os custos de energia e diminuir a pegada de carbono. A análise preditiva, quando combinada com técnicas de aprendizado de máquina, pode prever e optimizar as condições de consumo energético ao longo do tempo, minimizando o impacto ambiental.

CAPÍTULO 3: LOCAL DE ESTUDO

3.1. Localização

O sistema de monitoria e optimização de consumo energético será implementado na sede do Banco de Moçambique, que está situada no centro da cidade de Maputo, a capital do país.

A área onde o Banco está localizado é de fácil acesso, permitindo uma integração eficiente das tecnologias de monitoria energética. Com um ambiente urbano bem desenvolvido e infra-estruturas de comunicação avançadas, a cidade oferece um contexto ideal para a utilização de tecnologias inteligentes na gestão do consumo energético. A presença de outros grandes centros administrativos e financeiros na região também favorece a troca de conhecimento e a implementação de soluções inovadoras.

3.2. Desafios específicos na monitoria e optimização de consumo energético no Banco de Moçambique – Sede

A monitoria e optimização do consumo energético são questões centrais na gestão sustentável de instituições modernas, e o Banco de Moçambique não é uma excepção. Contudo, esta tarefa enfrenta uma série de desafios específicos, que limitam tanto a eficiência operacional quanto os avanços em sustentabilidade ambiental. Estes desafios estão relacionados à ausência de tecnologias integradas, dependência de fontes de energia não renováveis, uso ineficiente de recursos como iluminação e climatização, e à falta de uma cultura organizacional voltada para a eficiência energética.

Cada um desses desafios contribui de forma significativa para o elevado consumo energético e o impacto ambiental gerado pelas operações do banco. A análise detalhada a seguir aborda estas questões e apresenta uma perspectiva sobre as suas implicações e possíveis soluções, com o objectivo de estabelecer uma gestão energética mais eficaz e sustentável.

3.2.1. Ausência de um Sistema Integrado de Monitoria Energética

A falta de um sistema integrado para monitorar o consumo energético representa um dos maiores entraves para a gestão eficiente no Banco de Moçambique. Actualmente, a monitoria é feita de forma manual ou parcial, sem dados em tempo real que possam identificar os principais pontos de desperdício, como iluminação excessiva ou sistemas de climatização que permanecem ligados mesmo sem necessidade.

Esta lacuna tecnológica reduz a capacidade de implementar soluções eficazes para reduzir os desperdícios e otimizar os custos energéticos. A introdução de um sistema baseado em Internet das Coisas poderia oferecer uma solução viável, permitindo a monitoria em tempo real e automação de processos, como o desligamento de equipamentos quando não estão a ser utilizados. Contudo, os elevados custos iniciais e a necessidade de formação especializada são barreiras significativas.

3.2.2. Dependência de Fontes de Energia Não Renováveis

A contínua dependência de geradores a diesel no Banco de Moçambique, especialmente durante cortes no fornecimento de energia, representa um desafio significativo. Esta prática não apenas aumenta os custos operacionais, mas também contribui para a elevação das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Estima-se que os geradores sejam responsáveis por uma parte considerável das 600 toneladas de CO₂ emitidas anualmente pelo banco.

Embora Moçambique tenha avançado na adopção de energias renováveis, a baixa disponibilidade e fiabilidade dessas fontes ainda limitam a sua utilização em larga escala. Para mitigar esse problema, o banco poderia investir na instalação de painéis solares e sistemas de armazenamento de energia, reduzindo a sua dependência de fontes poluentes e melhorando a sustentabilidade operacional.

3.2.3. Uso Ineficiente de Sistemas de Climatização e Iluminação

Os sistemas de climatização e iluminação no edifício sede consomem uma parte significativa da energia utilizada. A ausência de tecnologias automatizadas para ajustar

o uso com base na ocupação dos espaços resulta em desperdícios consideráveis, particularmente durante fins de semana e horários noturnos.

A implementação de sensores inteligentes e sistemas automatizados poderia melhorar significativamente a eficiência energética. Por exemplo, sensores de presença poderiam apagar as luzes em áreas desocupadas, e sistemas de controle de temperatura poderiam ajustar automaticamente os níveis de climatização. Apesar das vantagens, a implementação dessas tecnologias exige um planejamento detalhado e investimentos iniciais significativos.

3.2.4. Falta de Conscientização e Engajamento dos Colaboradores

Outro desafio crítico é a falta de uma cultura interna voltada para a eficiência energética. Muitos colaboradores não estão sensibilizados sobre o impacto financeiro e ambiental do consumo excessivo de energia. Essa ausência de conscientização dificulta a adoção de práticas sustentáveis no cotidiano, como desligar equipamentos desnecessários ou ajustar o uso de climatização.

Para enfrentar este desafio, o Banco de Moçambique poderia implementar programas de sensibilização e capacitação para os seus colaboradores. Além disso, mecanismos de incentivo, como recompensas para equipas que promovam práticas sustentáveis, poderiam estimular maior adesão às iniciativas de eficiência energética.

3.2.5. Infra-estrutura Tecnológica com Elevada Demanda Energética

A infra-estrutura tecnológica do banco, composta por servidores, sistemas de segurança e equipamentos de TI, é essencial para as operações contínuas, mas também contribui significativamente para o consumo energético. Estes sistemas, que precisam funcionar ininterruptamente, aumentam a complexidade da gestão energética e dos custos associados.

Medidas como a modernização dos equipamentos existentes, com a adoção de alternativas mais eficientes em termos de consumo, poderiam reduzir significativamente os gastos energéticos. Além disso, a utilização de soluções como a virtualização de

servidores e a optimização dos data centers representaria uma estratégia viável para minimizar o impacto ambiental e financeiro.

3.3. Constrangimentos e limitações nos sistemas de monitoria e optimização de consumo energético no Banco de Moçambique – Sede

A monitoria e optimização do consumo energético representam um desafio crescente para instituições como o Banco de Moçambique, especialmente devido à crescente demanda por eficiência operacional e sustentabilidade. Apesar de esforços para implementar práticas mais eficientes, o banco enfrenta constrangimentos que limitam a eficácia dos sistemas implementados, afectando directamente o alcance dos objectivos estratégicos.

Esta secção analisa de forma sistemática os principais constrangimentos e limitações enfrentados pelo Banco de Moçambique na sua sede, abrangendo aspectos tecnológicos, financeiros e de capacitação. A abordagem considera não apenas os desafios presentes, mas também os impactos potenciais na gestão energética e as oportunidades de melhoria. Os subpontos detalham questões estruturais, desafios relacionados a investimentos e a falta de competências técnicas, destacando as áreas críticas que necessitam de intervenção.

3.3.1. Limitações Tecnológicas e Infra-estruturais

A tecnologia disponível no Banco de Moçambique enfrenta limitações significativas, sobretudo no que diz respeito à integração com sistemas modernos de monitoria e optimização de energia. Grande parte dos equipamentos instalados na sede não possui compatibilidade com tecnologias de Internet das Coisas, dificultando a recolha de dados em tempo real sobre o consumo energético. Essa lacuna tecnológica impede a identificação de desperdícios e compromete a eficácia das estratégias de eficiência energética.

Além disso, a infra-estrutura eléctrica e de climatização carece de actualizações e manutenção periódica, tornando-a menos eficiente em termos energéticos. Muitos dispositivos operam além da sua vida útil, consumindo mais energia do que o necessário.

Esses desafios são ampliados pela ausência de um plano claro de modernização tecnológica, que poderia incluir a substituição de equipamentos antigos por sistemas inteligentes e adaptáveis.

A implementação de sensores avançados, sistemas de gestão energética centralizados e iluminação automatizada é limitada pelo actual estado das infra-estruturas. O banco enfrenta dificuldades em adoptar essas soluções devido à necessidade de integrar tecnologias modernas a sistemas legados, o que frequentemente resulta em altos custos e desafios técnicos.

3.3.2. Desafios Financeiros e Orçamentais

O custo elevado de aquisição e implementação de tecnologias avançadas é um dos maiores entraves para a adopção de sistemas eficientes de monitoria energética. O investimento inicial necessário para adquirir sensores inteligentes, sistemas de automação e plataformas de análise de dados é significativo, e a ausência de subsídios ou incentivos governamentais para instituições financeiras limita ainda mais as possibilidades de expansão tecnológica.

Os custos operacionais recorrentes, como manutenção e actualização de sistemas, representam outro desafio financeiro. Mesmo após a implementação, os dispositivos IoT exigem suporte contínuo e formação técnica, o que pode comprometer parte do orçamento destinado a outras áreas prioritárias. Além disso, a dependência de fornecedores externos para manutenção de equipamentos aumenta os custos e reduz a autonomia do banco.

Por fim, a necessidade de equilibrar os custos de operação com investimentos em sustentabilidade coloca o banco diante de decisões difíceis. Apesar das vantagens de longo prazo da eficiência energética, os retornos financeiros imediatos nem sempre são visíveis, o que desincentiva o investimento em tecnologias inovadoras.

3.3.3. Capacitação Técnica e Sensibilização

A falta de conhecimento técnico especializado entre os colaboradores do Banco de Moçambique é uma limitação crítica para a gestão eficiente de energia. A utilização de sistemas avançados de monitoria requer profissionais capacitados para interpretar dados, realizar ajustes e implementar soluções baseadas nos resultados obtidos. Sem formação adequada, os colaboradores podem cometer erros que comprometem o desempenho das iniciativas energéticas.

Além disso, o banco enfrenta desafios na sensibilização dos funcionários para a importância de práticas de eficiência energética. A falta de campanhas educativas estruturadas e contínuas resulta em comportamentos que levam ao desperdício de energia, como o uso excessivo de equipamentos e a negligência em desligar dispositivos quando não estão em uso. Isso reduz o impacto das estratégias implementadas e limita o alcance dos objectivos de sustentabilidade.

CAPÍTULO 4: PROPOSTA DE SOLUÇÃO

4.1. Descrição da proposta de solução

A proposta de solução para os desafios identificados no consumo energético do Banco de Moçambique – Sede consiste em um sistema integrado de monitoria e optimização energética baseado em tecnologias da Internet das Coisas (IoT). Este sistema permite a recolha, análise e gestão em tempo real dos dados de consumo energético, visando a eficiência operacional e a sustentabilidade.

O núcleo da solução é a implementação de sensores inteligentes e actuadores distribuídos pelos principais pontos de consumo de energia, como climatização, iluminação e equipamentos eléctricos. Esses dispositivos serão interligados a uma plataforma central de gestão energética, onde os dados recolhidos serão analisados para identificar padrões de uso e desperdício. A proposta inclui ainda funcionalidades de automação, como desligamento automático de sistemas fora do horário de funcionamento e ajustamento dinâmico de consumos com base em ocupação e condições ambientais.

Complementarmente, o sistema prevê módulos de visualização de indicadores de desempenho (KPIs) energéticos e relatórios personalizados, permitindo à gestão tomar decisões informadas. Para maximizar o impacto, a solução incorpora uma componente de capacitação técnica para os colaboradores e campanhas de sensibilização sobre práticas de eficiência energética, garantindo uma abordagem integrada e sustentável na gestão de energia.

4.2. Componentes Chave

A solução proposta para monitoria e optimização do consumo energético utiliza diversos componentes tecnológicos que trabalham em conjunto para recolher dados e fornecer feedback em tempo real.

- **NodeMCU ESP8266:** É uma placa de desenvolvimento com Wi-Fi integrado, utilizada para conectar os sensores ao sistema de monitoramento centralizado via rede sem fio.
- **Módulo PZEM-004T:** Este módulo é responsável pela medição de parâmetros elétricos, como tensão, corrente, potência ativa, energia consumida e fator de potência, enviando essas informações para o NodeMCU.
- **Bobina CT (Current Transformer):** Utilizada para medir a corrente elétrica em sistemas AC, a bobina CT é essencial para o cálculo do consumo de energia de maneira precisa.
- **Protoboard:** A protoboard é usada para montar os circuitos de forma temporária e testar as ligações entre os componentes antes de uma implementação mais permanente.
- **Jumpers e Fios de Conexão:** Esses componentes são utilizados para realizar as ligações entre o NodeMCU, o módulo PZEM-004T, a bobina CT e a fonte de alimentação, garantindo que todos os componentes trabalhem em conjunto de forma eficiente.
- **Plataforma Web:** Os dados coletados pelos sensores serão enviados para a plataforma Web por meio do NodeMCU.

4.3. Princípio de Funcionamento

O sistema de monitoria de energia proposto utiliza o medidor inteligente PZEM-004T, que é responsável por medir parâmetros como corrente, tensão, potência activa e consumo de energia. O PZEM-004T está conectado ao microcontrolador NodeMCU ESP8266, que processa os dados e os envia via rede Wi-Fi para uma página HTML, permitindo a visualização remota dos dados de consumo. Esse sistema facilita o

acompanhamento em tempo real, possibilitando a identificação de eventuais desperdícios de energia e promovendo a eficiência energética em ambientes residenciais ou comerciais.

A integração entre o medidor e o microcontrolador permite que as leituras de energia sejam feitas de forma contínua e os dados sejam enviados para a interface web em intervalos regulares. A página HTML exibe as informações de forma clara, permitindo que os usuários monitorem a energia consumida e tomem decisões para reduzir custos e otimizar o uso de electricidade. A solução, portanto, representa um avanço no controle e gestão do consumo energético por meio de tecnologias IoT.

Além disso, o NodeMCU ESP8266 é configurado para garantir a actualização constante dos dados, proporcionando uma gestão eficiente do consumo de energia. A programação do microcontrolador possibilita o envio dos dados de forma estruturada para a página web, facilitando o acesso às informações e aumentando a transparência no consumo de energia. Esse tipo de aplicação de IoT contribui significativamente para a sustentabilidade e eficiência energética, ajudando os utilizadores a monitorar e reduzir o desperdício de electricidade.

4.4. Benefícios da Solução

A solução proposta para monitoramento de energia oferece benefícios significativos em termos de controle e optimização do consumo energético. Primeiramente, ela proporciona uma visão detalhada e em tempo real do uso de energia, permitindo identificar possíveis desperdícios e corrigir comportamentos ineficientes, o que pode gerar uma redução considerável nos custos de electricidade. Além disso, com o monitoramento remoto, facilita-se a gestão do consumo, tornando-o mais acessível e prático para os usuários, seja em ambiente doméstico, empresarial ou corporativo.

A integração da tecnologia IoT na solução também traz vantagens em termos de sustentabilidade, uma vez que, ao identificar padrões de consumo, permite que acções correctivas sejam tomadas para promover o uso racional da energia. Isso resulta não apenas em economia financeira, mas também contribui para a preservação ambiental,

pois incentiva práticas mais responsáveis e alinhadas com os objectivos de redução de impacto ecológico.

Outro benefício importante está relacionado ao aumento da eficiência operacional. O sistema permite a análise de dados detalhados sobre o consumo de energia, possibilitando ajustes rápidos e precisos que optimizam os processos de utilização da electricidade. Isso faz com que a solução não apenas melhore o desempenho energético, mas também torne as operações mais eficientes, com impacto positivo tanto no custo quanto na sustentabilidade das organizações.

4.5. Custo de Implementação e Instalação do Sistema

A implementação e instalação do sistema envolvem uma série de custos diretos, como aquisição de equipamentos, software, infra-estrutura de rede e mão-de-obra para instalação. Este investimento inicial garantirá a eficiência e a operação contínua do sistema, visando uma gestão mais eficiente da energia. A seguir, é apresentada a Tabela de Custos de Implementação e Instalação do Sistema com os principais custos relacionados à implementação e instalação do sistema.

Descrição da Despesa	Qt	Valor (MZN)
Aquisição de Sensores de Energia Shelly Pro 3EM	31	250,000
Equipamentos de Comunicação IoT (roteadores)	31	100,000
Licenciamento de Software (plataforma e aplicativos)	50	150,000
Mão-de-obra para Instalação e Configuração	1	200,000
Treinamento da Equipe	1	30,000
Total		730,000

Tabela 1: Custos de Implementação e Instalação do Sistema

Fonte: Autor (2025)

CAPÍTULO 5: DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

5.1. Visão Geral do Sistema

O sistema proposto é uma solução integrada para monitoramento e gestão eficiente de energia, utilizando dispositivos IoT (Internet das Coisas). Ele permite o controle em tempo real do consumo de energia em diferentes áreas, possibilitando uma análise detalhada do uso e sugerindo melhorias. A plataforma oferece funcionalidades como o monitoramento remoto, a visualização de dados históricos e a geração de alertas sobre padrões de consumo excessivo. Além disso, integra-se facilmente com as infra-estruturas já existentes, proporcionando uma implementação escalável e de baixo custo.

5.2. Análise e definição de requisitos

A análise e definição de requisitos para o sistema proposto envolve a identificação das necessidades e expectativas dos usuários, além de uma avaliação detalhada das condições técnicas e operacionais. O objectivo é garantir que o sistema atenda a todos os requisitos funcionais e não funcionais, incluindo eficiência, usabilidade, segurança e escalabilidade. A definição de requisitos começa com a colecta de dados sobre o ambiente de operação, seguido pela especificação de funcionalidades necessárias, como monitoramento de consumo de energia em tempo real, geração de relatórios, alertas automáticos e integração com outras plataformas. A análise deve também incluir os requisitos de hardware, software e infra-estrutura necessários para suportar a implementação do sistema de forma eficaz e sustentável.

5.2.1. Âmbito do Sistema

O âmbito do sistema define as fronteiras e as funcionalidades que ele deve cobrir, garantindo que todos os requisitos sejam atendidos de forma clara e objectiva. No contexto do sistema proposto, o foco é o monitoramento em tempo real do consumo de energia, a análise de eficiência energética, a geração de relatórios personalizados e a integração com plataformas de gerenciamento existentes. O sistema será projectado para ser escalável, modular e capaz de operar de forma eficiente em diferentes

ambientes, com ênfase na redução de custos operacionais e melhoria no uso de recursos energéticos.

5.2.2. Grupos de Interesse

Os grupos de interesse referem-se às partes envolvidas ou impactadas pelo sistema, e sua identificação é essencial para garantir que todas as necessidades sejam atendidas. No caso do sistema proposto, os principais grupos de interesse incluem:

- **Usuários finais:** Equipes responsáveis pela monitoria e gestão de energia.
- **Gestores de TI:** Responsáveis pela manutenção e integração com sistemas existentes.
- **Fornecedores de energia:** Envolvidos no fornecimento de dados e na análise de consumo.
- **Clientes:** Os beneficiários finais da otimização do consumo energético.
- **Equipe de Desenvolvimento:** Responsável pela criação, implementação e personalização do sistema.

5.2.3. Convenções

As convenções são as normas e princípios que guiam o processo de identificação e definição dos requisitos do sistema. Elas asseguram que todos os envolvidos no desenvolvimento do sistema tenham uma compreensão clara e uniforme sobre as necessidades e expectativas do projecto. O uso de convenções facilita a comunicação e a organização do trabalho, promovendo a consistência no processo de desenvolvimento.

- **Identificação dos Requisitos**

Os requisitos do sistema serão identificados e numerados de acordo com a seguinte convenção: RF (Requisito Funcional) seguido de um número sequencial. Por exemplo, RF01, RF02 e assim por diante.

- **Identificação dos Casos de Uso**

Os casos de uso serão identificados e documentados usando a seguinte convenção: CU (Local de Uso) seguido de um número sequencial. Por exemplo, CU001, CU002 e assim por diante.

5.2.4. Requisitos do Sistema

Os requisitos do sistema são as funcionalidades e características necessárias para que o sistema atenda às necessidades dos usuários e objectivos do projecto. Estes requisitos serão divididos em funcionais e não funcionais, garantindo que todos os aspectos essenciais do sistema sejam cobertos. A seguir, são apresentados os requisitos principais:

- **Requisitos Funcionais (RF)**
 - **RF01:** O sistema deve ser capaz de medir os seguintes parâmetros eléctricos.
 - **RF02:** O sistema deve exibir os valores dos parâmetros de energia em tempo real em uma página web, actualizando a cada 3 segundos.
- **Requisitos Não Funcionais (RNF)**
 - **RNF01:** O sistema deverá ser acessível 24 horas por dia.
 - **RNF02:** O sistema deve ser seguro, utilizando criptografia nas transacções.

Esses requisitos garantirão o bom desempenho, usabilidade e segurança do sistema proposto

- **Prioridades dos Requisitos**

A definição das prioridades dos requisitos é essencial para assegurar que o sistema atenda, de forma eficaz, às necessidades mais críticas dos usuários e ao cumprimento dos objectivos do projecto. Os requisitos serão classificados em três níveis de prioridade:

- **Prioridade Alta:** Requisitos considerados críticos para a funcionalidade básica do sistema e a experiência do usuário. Eles serão implementados como prioridade máxima.
- **Prioridade Média:** Requisitos importantes, mas não críticos para a funcionalidade principal. Eles serão abordados após os requisitos de alta prioridade.
- **Prioridade Baixa:** Requisitos desejáveis, mas não essenciais para a funcionalidade básica do sistema. Eles serão considerados em fases futuras de desenvolvimento, se viáveis.

5.2.5. Requisitos funcionais

Os requisitos funcionais definem as funções específicas que o sistema deve desempenhar para atender aos objectivos e necessidades.

Ref	Descrição do Requisito Funcional	Critério de Aceitação	Prioridade
<i>RF01</i>	Medir os parâmetros de energia: voltagem, corrente, potência, fator de potência e frequência utilizando o sensor PZEM004Tv30.	O sistema deve ser capaz de retornar os valores dos parâmetros de energia com precisão em tempo real.	Alta
<i>RF02</i>	Exibir os valores dos parâmetros de energia em uma página web.	A página web deve apresentar os parâmetros em formato de tabela, com atualização a cada 3 segundos.	Alta
<i>RF03</i>	Permitir acesso via Wi-Fi utilizando a rede configurada no código.	O sistema deve se conectar automaticamente à rede Wi-Fi especificada e ser acessível via navegador.	Alta

<i>RF04</i>	Organizar os dados em uma tabela com três colunas: Parâmetros, Valores e Unidades.	A tabela deve exibir correctamente os parâmetros de energia e unidades (Volts, Amperes, Watts, etc.).	Média
-------------	--	---	-------

Tabela 2: Requisitos funcionais

5.2.6. Requisitos não funcionais

Os requisitos não funcionais definem as características não relacionadas a funções do sistema, mas que são igualmente importantes para o seu desempenho e eficiência.

Tabela 3: Requisitos não funcionais

Ref	Descrição do Requisito Não Funcional	Critério de Aceitação
<i>RNF01</i>	Desempenho: O sistema deve responder a solicitações em até 2 segundos.	O tempo de resposta não deve ultrapassar 2 segundos, mesmo com múltiplos usuários simultâneos.
<i>RNF02</i>	Segurança: Comunicação segura utilizando WPA2.	A conexão Wi-Fi deve utilizar criptografia WPA2 para proteger as informações trocadas entre o dispositivo e o servidor.
<i>RNF03</i>	Escalabilidade: O sistema deve permitir a conexão de múltiplos dispositivos.	O sistema deve funcionar sem degradação de desempenho ao adicionar novos dispositivos conectados.
<i>RNF04</i>	Usabilidade: Interface intuitiva e responsiva.	A interface deve ser clara e fácil de usar, adaptando-se a diferentes tamanhos de tela (desktop e dispositivos móveis).

5.3. Projecto de sistema e software

O projecto de sistema e software é a fase em que as especificações técnicas e operacionais do sistema são desenhadas e documentadas. Esta etapa envolve a escolha da arquitectura do sistema, tecnologias, frameworks e a definição dos fluxos de dados. O design do software, incluindo a escolha de interfaces de usuário, banco de dados e segurança, é realizado com base nos requisitos funcionais e não funcionais. A metodologia de desenvolvimento, testes e implementação também deve ser definida para garantir que o sistema atenda às necessidades e expectativas dos usuários e stakeholders.

5.3.1. Requisitos de software

a) Requisitos Funcionais de Software:

Os requisitos funcionais de software descrevem as funções específicas que o sistema deve executar. Estes requisitos são fundamentais para garantir que o software atenda às necessidades do usuário e aos objectivos do projecto. Para o sistema em questão, os requisitos funcionais podem incluir:

- **Leitura de Dados de Energia:** O software deve ser capaz de colectar e exibir informações em tempo real, como voltagem, corrente, potência, factor de potência e frequência.
- **Interface Web:** O sistema deve fornecer uma interface web onde os dados colectados são apresentados em uma página HTML, actualizada automaticamente.
- **Conectividade Wi-Fi:** O software deve garantir que o dispositivo seja capaz de se conectar a uma rede Wi-Fi e enviar dados para o servidor web.
- **Armazenamento e Processamento de Dados:** O sistema deve armazenar os dados colectados e processá-los conforme necessário para cálculo de consumo de energia.

b) Requisitos Não Funcionais de Software:

Os requisitos não funcionais de software estabelecem as condições e características que o sistema deve satisfazer, além das funcionalidades básicas. Para o sistema proposto, os seguintes requisitos não funcionais foram definidos:

- **Desempenho:** O sistema deve actualizar os dados apresentados na interface web em intervalos máximos de 3 segundos, garantindo informações quase em tempo real.
- **Escalabilidade:** Deve ser possível integrar dispositivos adicionais sem afectar o desempenho do sistema.
- **Segurança:** O software deve proteger a transmissão de dados através de autenticação de rede e criptografia.
- **Portabilidade:** O sistema deve ser compatível com múltiplos dispositivos que utilizam diferentes navegadores.
- **Usabilidade:** A interface deve ser intuitiva e facilmente navegável, minimizando a curva de aprendizado dos usuários finais.
- **Confiabilidade:** O sistema deve manter disponibilidade superior a 99% durante o seu uso em operação contínua.

5.3.2. Requisitos de hardware

Os requisitos de hardware especificam os recursos necessários para garantir o desempenho adequado do sistema proposto. Esses requisitos são divididos em duas categorias: requisitos mínimos e recomendados.

- **Dispositivo de Controle**
 - **Mínimo:** Microcontrolador ESP8266 ou similar com suporte a Wi-Fi.
 - **Recomendado:** ESP8266 com suporte expandido para sensores adicionais.
- **Sensores**
 - **Mínimo:** Sensor PZEM004T para monitoria de energia.
 - **Recomendado:** Sensores adicionais para medições avançadas (temperatura, humidade).

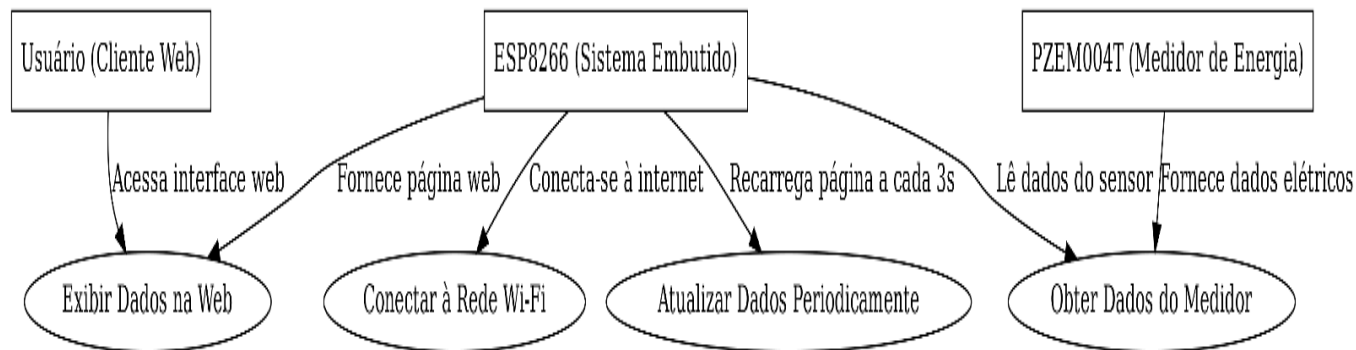
- **Fonte de Alimentação**
 - **Mínimo:** 5V/2A compatível com o ESP8266.
 - **Recomendado:** Fonte com protecção contra surtos eléctricos.
- **Infra-estrutura de Rede**
 - **Mínimo:** Roteador Wi-Fi padrão IEEE 802.11n.
 - **Recomendado:** Roteador com maior alcance e suporte a múltiplos dispositivos simultâneos.

5.3.3. Diagrama de casos de USO

O diagrama de Local de uso representará os principais atores e funcionalidades do sistema, que colecta e exhibe dados de um medidor de energia (PZEM004T) via uma interface web.

- **Atores:**
 - Usuário (Cliente Web) – Acessa a interface web para visualizar os dados do medidor de energia.
 - ESP8266 (Sistema Embutido) – Conecta-se à rede Wi-Fi, colecta dados do medidor de energia e os disponibiliza na web.
 - PZEM004T (Medidor de Energia) – Sensoreia e fornece os dados eléctricos (tensão, corrente, factor de potência, potência e frequência).
- **Casos de Uso:**
 - Conectar à Rede Wi-Fi – O ESP8266 conecta-se a uma rede Wi-Fi para disponibilizar os dados.
 - Obter Dados do Medidor – O ESP8266 lê os valores do PZEM004T (tensão, corrente, fator de potência, potência e frequência).
 - Exibir Dados na Web – O ESP8266 hospeda um servidor web que exhibe os valores capturados em uma interface HTML.
 - Actualizar Dados Periodicamente – A interface web é recarregada automaticamente a cada 3 segundos para actualizar os valores.

Figura 4: Diagrama de Local de Uso



5.3.4. Arquitectura

- **Camada de Dispositivos (Hardware)**

- **ESP8266:** Microcontrolador responsável por conectar-se à rede Wi-Fi, ler dados do medidor de energia e servir uma interface web.
- **PZEM004T v3.0:** Sensor de monitoramento de energia que mede tensão, corrente, potência, factor de potência e frequência.
- **Rede Wi-Fi(router):** Permite a comunicação entre o ESP8266 e os dispositivos clientes.

- **Camada de Processamento (Firmware ESP8266)**

- **Módulo de Comunicação:** Estabelece conexão com a rede Wi-Fi.
- **Módulo de Aquisição de Dados:** Obtém leituras do PZEM004T via interface serial (D1 e D2).
- **Módulo Web Server:** Servidor embutido no ESP8266 que processa requisições HTTP e disponibiliza os dados colectados na interface web.
- **Mecanismo de Actualização:** Actualiza os valores na página web automaticamente a cada 3 segundos.

- **Camada de Apresentação (Interface Web)**

- **Página Web HTML/CSS:** Interface acessível via navegador, exibindo os dados medidos de forma organizada em uma tabela.
- **Actualização Automática:** Utiliza a tag `<meta http-equiv="refresh" content="3">` para recarregar a página periodicamente.

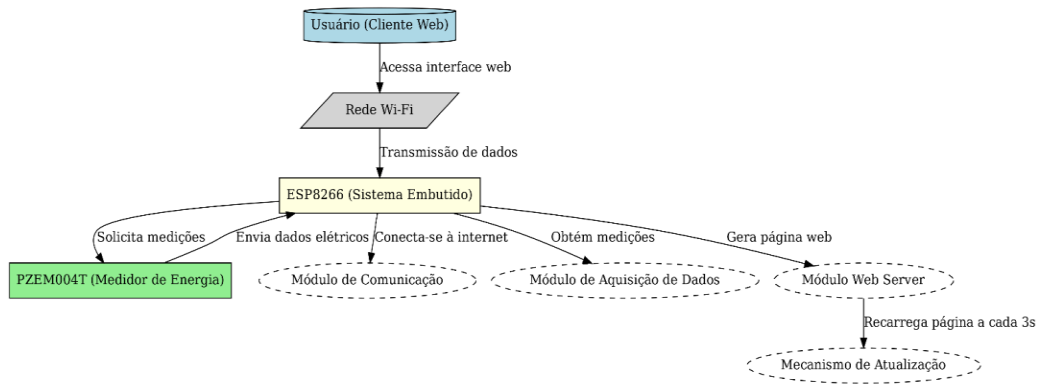


Figura 5: Arquitectura do Sistema

5.3.5. Modelo de Funcionamento

O fluxo de funcionamento de um sistema de monitoria de energia utilizando o microcontrolador ESP8266 e o sensor PZEM004T. Este sistema permite a medição remota de parâmetros eléctricos, disponibilizando os dados via uma interface web acessível ao usuário. A comunicação entre os componentes é realizada por meio de Wi-Fi, garantindo uma actualização constante das leituras em tempo real.

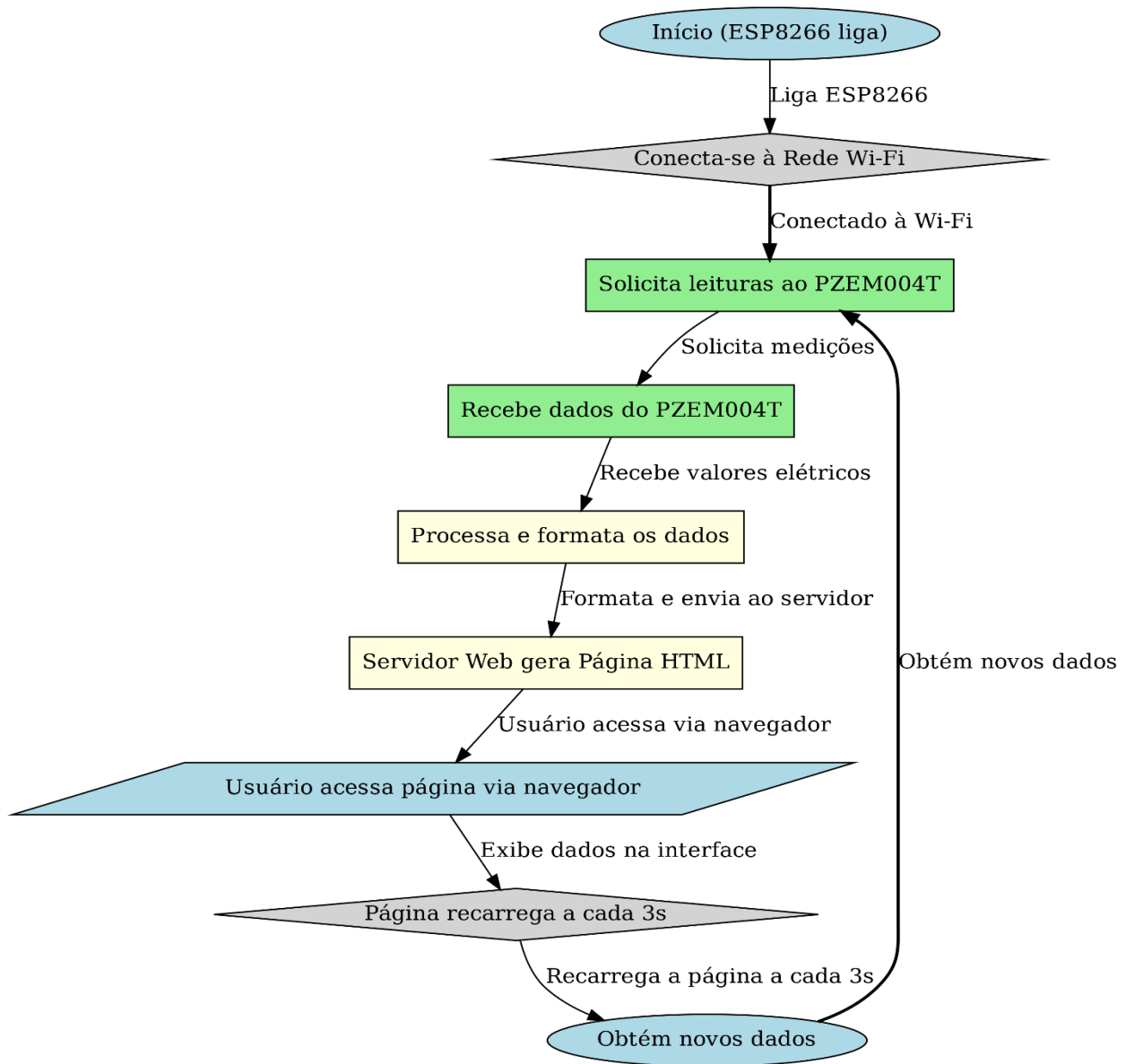


Figura 6: Fluxo de Funcionamento

O diagrama Acima representa as etapas desde a conexão do ESP8266 à rede Wi-Fi até a exibição dos dados na interface web.

1. O ESP8266 inicia e conecta-se à rede Wi-Fi.

- O microcontrolador inicia o processo de conexão com a rede utilizando as credenciais predefinidas.

- Ele aguarda a confirmação da conexão antes de prosseguir com a leitura dos sensores.
- 2. Ele solicita leituras ao PZEM004T.**
 - O ESP8266 envia comandos para o sensor PZEM004T via comunicação serial para obter os dados de medição.
- 3. O sensor responde com os valores de tensão, corrente, potência, factor de potência e frequência.**
 - O PZEM004T retorna os valores medidos para o ESP8266.
 - Caso haja falha na resposta, o ESP8266 pode reenviar a solicitação.
- 4. O ESP8266 processa os dados e os disponibiliza via servidor web.**
 - Os valores recebidos são formatados e organizados.
 - O ESP8266 executa um servidor web, onde exibe esses valores em uma página HTML.
- 5. O usuário acessa a página e visualiza os valores.**
 - A interface web permite a consulta remota das medições por meio de qualquer navegador conectado à mesma rede Wi-Fi.
- 6. A página recarrega automaticamente a cada 3 segundos para actualizar as medições.**
 - Isso garante que os dados exibidos estejam sempre actualizados sem necessidade de intervenção manual do usuário.

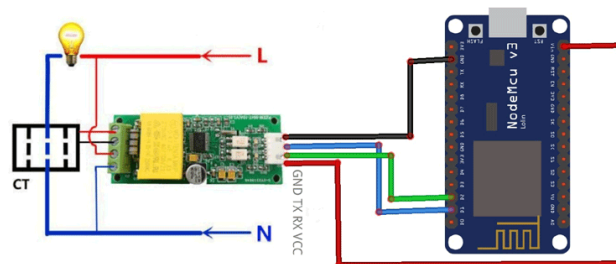


Figura 7: Diagrama de circuito do medidor de energia IoT

O circuito da figura 7 apresenta um diagrama de conexão entre um NodeMCU v3 (ESP8266), um módulo PZEM004T e um sensor de corrente (CT), formando um sistema de monitoramento e controle remoto de cargas eléctricas. A rede eléctrica fornece alimentação ao módulo PZEM004T, que recebe a fase (L) e o neutro (N) e controla o

acionamento de uma lâmpada. O sensor de corrente (CT) é responsável por medir o fluxo de energia da fase e transmitir essas informações ao módulo PZEM004T, permitindo o monitoramento do consumo eléctrico. O NodeMCU, por sua vez, está conectado ao módulo PZEM004T por meio de quatro fios (GND, TX, RX, VCC), possibilitando a comunicação serial e o envio de comandos para ligar ou desligar a lâmpada remotamente.

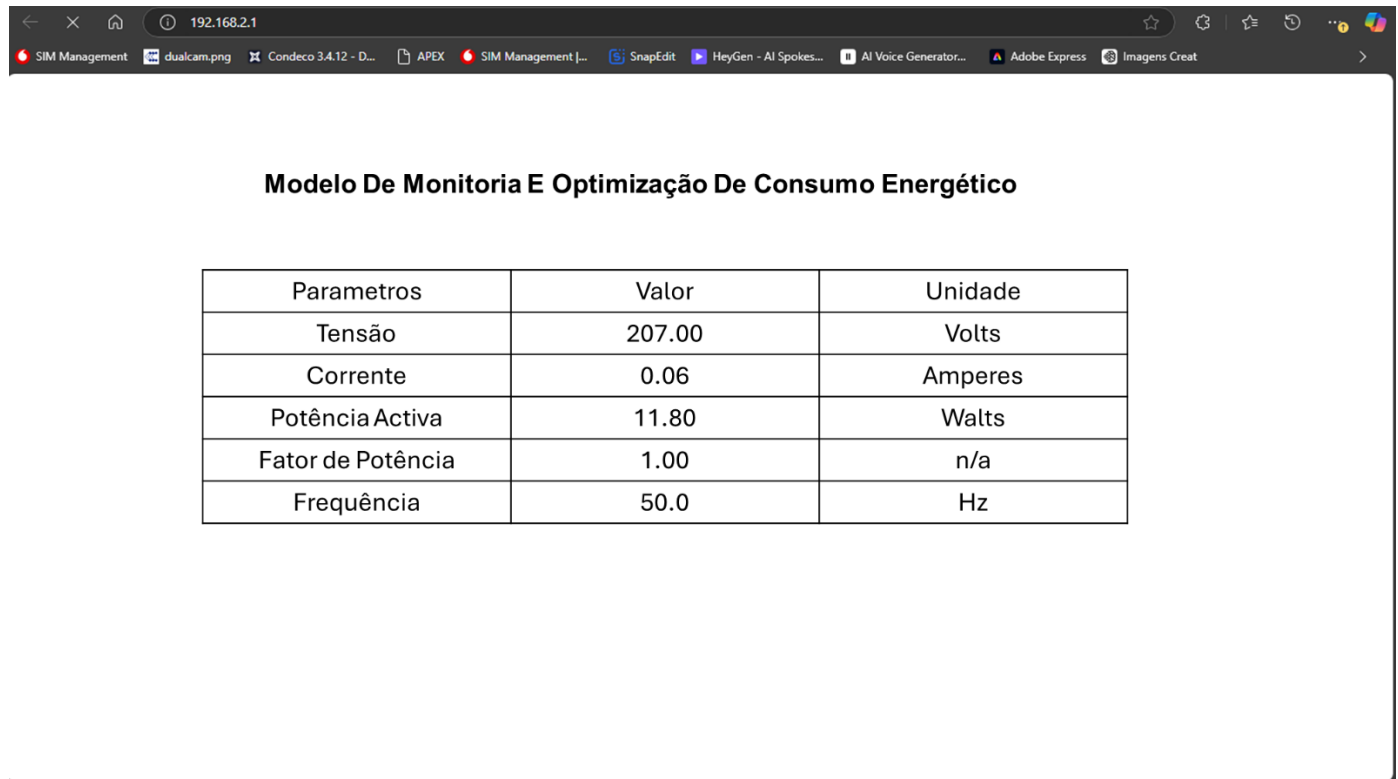


Figura 8: DashBoard

5.4. Implementação e teste de unidade

Após a implementação do sistema, foram conduzidos testes de unidade para validar a funcionalidade de cada módulo separadamente, permitindo a identificação e correcção de falhas antes da implantação final.

Os testes realizados incluíram:

- **Precisão das medições do PZEM004T:** Para verificar a precisão das medições, foram realizadas comparações entre os valores obtidos pelo sensor PZEM004T e um medidor de referência calibrado. Foram conduzidos 50 testes em diferentes condições de carga, e os resultados indicaram uma margem de erro inferior a 2%, o que foi considerado dentro dos parâmetros aceitáveis para a aplicação.
- **Estabilidade da conexão Wi-Fi:** O ESP8266 foi testado continuamente por um período de 48 horas, sendo submetido a variações de sinal e reinicializações programadas da rede. Durante esse período, o dispositivo manteve uma conexão estável, sem desconexões inesperadas. Quando a rede foi temporariamente desligada, o ESP8266 conseguiu se reconectar automaticamente sem necessidade de intervenção manual.
- **Funcionamento do servidor web:** Foram realizadas 500 requisições HTTP ao servidor web hospedado no ESP8266 para verificar a resposta do servidor e o tempo de carregamento da página. O servidor respondeu correctamente em 99,8% das requisições, com um tempo médio de carregamento de 1,2 segundos. Durante os testes de carga, o sistema manteve o funcionamento adequado até um limite de 10 conexões simultâneas.
- **Actualização automática das leituras:** O comportamento da actualização automática dos dados foi monitorado ao longo de 10 horas. Os valores foram actualizados correctamente a cada três segundos em 100% das requisições, garantindo a consistência das medições apresentadas na interface web.
- **Resistência a falhas:** Para avaliar a robustez do sistema, foram simuladas diversas falhas, incluindo:
 - Perda temporária da conexão Wi-Fi;
 - Interferências na comunicação entre o ESP8266 e o PZEM004T;
 - Queda abrupta de energia seguida de reinicialização.

Em todos os casos, o sistema conseguiu se recuperar automaticamente, restabelecendo a conexão e retomando a operação sem necessidade de intervenção do usuário. Em situações de falha na comunicação com o sensor, o ESP8266 foi capaz de reenviar as requisições até que a comunicação fosse restabelecida.

Com base nos testes realizados, o sistema demonstrou um desempenho satisfatório, atendendo aos requisitos de monitoramento remoto e actualização em tempo real. Pequenos ajustes foram implementados para optimizar o tempo de resposta do servidor web e a exibição dos valores na interface. Dessa forma, assegurou-se que a solução estivesse pronta para uma operação confiável e contínua, mesmo em condições adversas.

5.5. Integração e teste de sistema

Após a conclusão dos testes de unidade, foi realizada a integração dos módulos do sistema para validar seu funcionamento em conjunto. Essa etapa visou garantir que todos os componentes interagissem correctamente e que o sistema operasse de maneira estável e eficiente.

Os testes de integração foram conduzidos em um ambiente controlado e envolveram os seguintes aspectos:

- **Conectividade e comunicação entre ESP8266 e PZEM004T:** Foram realizadas 100 medições consecutivas para avaliar a consistência da comunicação entre os dispositivos. O ESP8266 conseguiu obter leituras estáveis em 98% das tentativas, com apenas 2% de falhas temporárias causadas por ruídos na comunicação serial.
- **Disponibilidade do servidor web:** O servidor foi submetido a um teste de carga com múltiplos acessos simultâneos. Foram simuladas 20 conexões concorrentes, e o tempo médio de resposta foi de 1,5 segundos, permanecendo dentro dos padrões aceitáveis.
- **Actualização em tempo real das medições:** A actualização automática da página web foi monitorada durante um período de 24 horas. Os valores foram actualizados correctamente a cada três segundos, garantindo a exibição precisa dos dados colectados.
- **Testes em diferentes redes Wi-Fi:** O ESP8266 foi testado em redes Wi-Fi de diferentes velocidades e com diferentes níveis de interferência. Ele conseguiu se

conectar e operar de forma estável na maioria das condições, demonstrando flexibilidade e adaptabilidade à infra-estrutura de rede.

- **Simulação de falhas e recuperação automática:** Foram simuladas falhas como desconexão repentina da rede, falhas de energia e interrupções na comunicação com o sensor. O sistema demonstrou resiliência ao retomar seu funcionamento automaticamente após a resolução do problema, sem necessidade de reinicialização manual.

Com base nos resultados obtidos, foi constatado que o sistema está devidamente integrado e opera conforme esperado. As medições são precisas, a interface web é responsiva e a comunicação entre os módulos ocorre de maneira eficiente. Dessa forma, concluiu-se que o sistema está pronto para implantação e uso contínuo.

CAPÍTULO 6: CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objectivo o desenvolvimento e a implementação de um sistema de monitoria remoto de medições eléctricas utilizando o módulo ESP8266 e o sensor PZEM004T. O sistema desenvolvido demonstrou ser viável e eficaz, atingindo os objectivos propostos de oferecer uma solução prática para monitorar, em tempo real, o consumo de energia eléctrica, ao mesmo tempo que contribuiu para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), promovendo a optimização do consumo energético.

6.1. Conclusões

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foram abordados diversos aspectos técnicos e operacionais relacionados ao sistema de monitoramento criado. A partir dos testes realizados, foi possível confirmar a precisão, fiabilidade e resiliência da solução proposta, destacando-se principalmente pela capacidade de fornecer dados contínuos e actualizados sobre o consumo de energia eléctrica. A pesquisa comprovou que o uso de tecnologias baseadas em Internet das Coisas (IoT) foi altamente eficaz para otimizar o consumo energético, e, assim, reduzir as emissões de GEE, com impacto positivo não só na redução dos custos operacionais, mas também na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas (SANTOS, 2023).

A robustez do sistema, juntamente com a facilidade de acesso aos dados através de uma interface web, mostrou-se eficiente em diversos cenários, desde pequenas instalações até grandes ambientes industriais, aumentando as possibilidades de aplicação em diferentes sectores. Além disso, a flexibilidade do ESP8266 em termos de conectividade e sua integração com o sensor PZEM004T permitiram que o sistema fosse adaptado a diferentes condições e exigências de rede, tornando-se uma solução escalável e eficaz para uma ampla gama de realidades (LIMA et al., 2022).

O uso de plataformas como Kaa IoT e ThingsBoard pode ser uma excelente alternativa para futuras melhorias, principalmente no que diz respeito à gestão de grandes volumes de dados e à integração com outros dispositivos IoT. Estas plataformas não só

ofereceram um ambiente robusto e seguro para troca de informações, como também possibilitaram a análise avançada dos dados, tornando o sistema ainda mais eficiente na identificação de padrões de consumo e na implementação de acções correctivas para reduzir o desperdício de energia (PEREIRA, 2021).

6.2. Recomendações

- **À Comunidade Académica**

Para trabalhos futuros, é aconselhável o uso de dispositivos industriais mais avançados, como o Shelly Pro 3EM, que oferecem maior robustez e uma conectividade mais fiável via LAN e Wi-Fi. Estes dispositivos foram capazes de fornecer medições mais precisas e dados em tempo real, sendo fundamentais para a gestão eficiente da energia, especialmente em ambientes industriais e comerciais (SANTOS, 2023).

No que diz respeito às plataformas IoT, o uso de soluções como Kaa IoT e ThingsBoard pode melhorar significativamente o desempenho do sistema, possibilitando maior escalabilidade e integração com diversos dispositivos, além de garantir maior segurança na transmissão de dados. Estas plataformas ofereceram funcionalidades avançadas para a recolha e análise dos dados, sendo uma excelente base para o desenvolvimento de soluções mais inteligentes e automatizadas para o controlo do consumo energético (LIMA et al., 2022).

Ademais, a segurança das informações foi um ponto essencial em sistemas IoT, já que estes dispositivos estão conectados à Internet. A implementação de técnicas de segurança, como o uso de WebSockets, criptografia e autenticação robusta, foi essencial para proteger dados sensíveis, garantindo a integridade e privacidade das informações transmitidas (MARTINS, 2020).

- **Ao Banco de Moçambique (Cliente)**

Para o Banco de Moçambique, a implementação desta solução traria benefícios significativos não só na redução dos custos operacionais, mas também na contribuição para a sustentabilidade ambiental. Ao monitorar, em tempo real, o consumo energético das suas instalações, seria possível identificar áreas de desperdício e implementar

medidas de eficiência energética que resultaram na diminuição das emissões de GEE. Isto alinhou-se com as políticas globais de redução das emissões e com os objectivos de sustentabilidade do país (GOVERNO DE MOÇAMBIQUE, 2020).

Além disso, o uso de dispositivos mais avançados, como os mencionados anteriormente, garantirá maior fiabilidade nas medições e maior controlo sobre as variáveis que afectam o consumo de energia, permitindo otimizar as operações do banco e reduzir o impacto ambiental das suas actividades.

- **À Sociedade Civil**

Para a sociedade civil, o impacto de soluções como a apresentada neste estudo pode ser sentido tanto a nível individual como colectivo. O aumento da conscientização sobre o consumo energético e os benefícios de soluções como o monitoramento remoto de energia poderia incentivar práticas mais responsáveis e sustentáveis. Além disso, a adopção generalizada dessas tecnologias contribuiria para a redução das emissões de GEE, ajudando Moçambique a cumprir as suas metas climáticas e a melhorar a qualidade de vida da sua população (ONU, 2021).

- **Limitações e Perspectivas Futuras**

Apesar de o sistema ter se mostrado eficaz, existem algumas limitações relacionadas à conectividade, principalmente em áreas com infra-estrutura de rede menos desenvolvida. Além disso, o uso de Wi-Fi teve restrições de alcance, que poderiam ser superadas com a adopção de tecnologias de rede mais robustas, como LAN e 5G, especialmente em aplicações de maior escala.

Pesquisas futuras poderiam explorar a aplicação de inteligência artificial para análise preditiva do consumo de energia e optimização em tempo real. A integração de sistemas smart grid e o uso de big data poderiam levar o sistema a um novo nível, permitindo não só o monitoramento, mas também o controlo activo do consumo energético de acordo com padrões de eficiência previamente estabelecidos.

7. Referências / Bibliografia

GOVERNO DE MOÇAMBIQUE. (2020). Política Nacional de Energia. Ministério da Energia e Recursos Minerais.

LIMA, A.; et al. (2022). Desenvolvimento de Soluções de Eficiência Energética com IoT. Editora Acadêmica.

MARTINS, F. (2020). Segurança em Sistemas IoT: Desafios e Soluções. Revista de Tecnologias Emergentes.

ONU. (2021). Relatório sobre Mudança Climática e Desenvolvimento Sustentável. Organização das Nações Unidas.

YIN, R. K. (2018) Case Study Research and Application: Design and methods. Sage Publications.

PEREIRA, R. (2021). Plataformas IoT para Gestão Energética: Kaa IoT e ThingsBoard. Jornal de Inovações Tecnológicas.

SANTOS, M. (2023). Tecnologias Emergentes e Sustentabilidade: O Caso da IoT no Monitoramento Energético. Editora Universitária.

BANCO DE MOÇAMBIQUE. Relatório de Sustentabilidade 2023. Maputo: Banco de Moçambique, 2023.

OLIVEIRA, PC. Uso de microcontrolador ESP8226 para automação

https://pt.wikipedia.org/wiki/Banco_Mundial

LAKATOS, Eva Maria, Marconi, Marina de Andrade. Fundamentos de metodologia científica. 5 ed São Paulo:Atlas 2003.

8. Anexos

ANEXO 1: GUIÃO DA ENTREVISTA E RESPOSTAS

Entrevistado: Responsável da Infraestrutura, P&E & Energy Performance do BM

Local: BM

Contextualização sobre Consumo Energético e Sustentabilidade

1. Qual é o consumo médio de energia elétrica nas instalações do Banco de Moçambique e quais são os principais factores que influenciam esse consumo?

- *Resposta:* O consumo médio de energia elétrica no Banco de Moçambique varia entre 10.000 kWh a 50.000 kWh por mês. Os principais factores que influenciam este consumo incluem a climatização (sistemas de ar condicionado), iluminação, equipamentos informáticos e servidores de TI. Há também um impacto significativo do horário de funcionamento prolongado e do uso contínuo de sistemas críticos.

2. O banco já realizou auditorias energéticas para identificar áreas de desperdício de energia? Quais foram os principais achados dessas auditorias?

- *Resposta:* Sim, realizámos auditorias energéticas nos últimos anos. Os principais achados incluíram a identificação de consumo desnecessário fora do horário laboral, ineficiência de equipamentos antigos e falta de um sistema automatizado para monitoria e gestão do consumo.

3. Que medidas o banco já implementou para aumentar a eficiência energética e reduzir custos operacionais?

- *Resposta:* Implementámos a substituição de lâmpadas fluorescentes por LED, instalação de sensores de presença em algumas áreas, melhoria do isolamento térmico e optimização dos horários de funcionamento dos sistemas de climatização.

4. O banco possui metas específicas para a redução do consumo energético e das emissões de GEE?

- *Resposta:* Sim, temos metas alinhadas com as estratégias de sustentabilidade do banco. O objectivo é reduzir o consumo energético em 30% nos próximos 4 anos, bem como diminuir as emissões de CO₂ associadas ao nosso consumo de eletricidade.
-

Implementação do Sistema IoT de Monitoramento Energético

5. Actualmente, o banco possui algum sistema de monitoria remoto de consumo energético? Se sim, quais são as suas limitações?

- *Resposta:* Possuímos um sistema de monitoria, mas ainda é limitado, pois não fornece dados em tempo real de forma detalhada. Além disso, a falta de integração com uma plataforma centralizada dificulta a análise eficiente dos padrões de consumo.

6. De que forma a implementação deste sistema pode ajudar a reduzir o consumo energético e melhorar a eficiência operacional?

- *Resposta:* O sistema permitirá a detecção de picos de consumo em tempo real, facilitando acções corretivas imediatas. Além disso, possibilitará a automatização de alertas para equipamentos que estejam a consumir energia desnecessariamente.
-

Segurança e Gestão de Dados

7. Quais são as principais preocupações do banco em relação à segurança cibernética na adopção de soluções IoT para monitoramento energético?

- *Resposta:* As principais preocupações incluem a vulnerabilidade a ataques cibernéticos, integridade dos dados e conformidade com regulamentos internos e externos de segurança da informação.

8. Que tipo de infraestrutura tecnológica seria necessária para garantir a implementação segura e eficiente do sistema de monitoramento remoto?

- *Resposta:* Seria necessário um servidor seguro para armazenamento dos dados, conexões criptografadas para transmissão de informações e políticas rigorosas de autenticação para evitar acessos não autorizados.
-

Impacto Ambiental e Benefícios Financeiros

9. Como a redução do consumo de energia no banco pode contribuir para a redução das emissões de GEE?

- *Resposta:* Ao reduzir o consumo de energia, diminuímos a necessidade de geração de eletricidade a partir de fontes fósseis, o que resulta numa menor emissão de CO₂. A longo prazo, essa redução pode contribuir para os compromissos ambientais nacionais e internacionais.

10. Com base na experiência do banco, a implementação de tecnologias de monitoramento energético poderia resultar numa redução significativa de custos operacionais? Há estimativas de economia a longo prazo?

- *Resposta:* Sim, estimamos que a implementação possa reduzir os custos operacionais com energia elétrica em até 20%. A economia pode ser ainda maior se associada a outras medidas, como a otimização do uso de equipamentos e o aproveitamento de energias renováveis.

11. O banco tem interesse em adoptar políticas de incentivo para promover o uso eficiente da energia entre os colaboradores?

- *Resposta:* Sim, já temos algumas iniciativas, mas há espaço para melhorarmos. Pretendemos reforçar campanhas de conscientização e implementar programas de incentivo para adopção de práticas mais sustentáveis.

ANEXO 2: CÓDIGO DO PROGRAMA

```
#include<ESP8266WiFi.h>
#include<WiFiClient.h>
#include<ESP8266WebServer.h>
#include <PZEM004Tv30.h>
PZEM004Tv30 pzem(D1,D2); //RX/TX
const char* ssid = "admin";//Replace with your network SSID
const char* password = "12345678";//Replace with your network password
ESP8266WebServer server(80);
float voltage,current,pf,frequency,power;
String page = "";
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print("."); }
  Serial.println(WiFi.localIP());
  server.on("/", []() {
    page = "<html><head><title>Smart Energy Meter using IoT</title></head><style
type=\"text/css\">";
    page += "table{border-collapse: collapse;}th {background-color: green ;color:
white;}table,td {border: 4px solid black;font-size: x-large;";
    page += "text-align:center;border-style: groove;border-color:
rgb(255,0,0);}</style><body><center>";
    page += "<h1>Smart Energy Meter using IoT</h1><br><br><table style=\"width:
1200px;height: 450px;\"><tr>";
    page +=
"<th>Parameters</th><th>Value</th><th>Units</th></tr><tr><td>Voltage</td><td>" + Str
ing(voltage)+"</td><td>Volts</td></tr>";
    page +=
```

```

"<tr><td>Current</td><td>" + String(current) + "</td><td>Amperes</td></tr><tr><td>Power Factor</td><td>" + String(pf) + "</td><td>XXXX</td>";
    page += "<tr><td>Power</td><td>" + String(power) + "</td><td>Watts</td></tr><tr>";
    page +=
"</tr><tr><td>Frequency</td><td>" + String(frequency, 1) + "</td><td>Hz</td></tr>";
    page += "<meta http-equiv=\"refresh\" content=\"3\">";
    server.send(200, "text/html", page);
});
server.begin(); }

void loop() {
voltage = pzem.voltage();
current = pzem.current();
power = pzem.power();
frequency = pzem.frequency();
pf = pzem.pf();
server.handleClient();
}

```