Universidade Federal do Amazonas
Faculdade de Tecnologia

Programa de Pós-Graduação *strictu-sensu* em Engenharia de Produção - PPGEP

Manutenção e Monitoramento Virtual do Patrimônio Edificado com Sistemas de Modelagem da Informação da Construção

Orientador: Prof.° Dr.° José Luiz de Souza Pio

Aluno: Otávio César de Paiva Valadares

Poder Executivo Federal
Ministério da Educação
Ministério da Economia

Ministério da Educação
Universidade Federal do Amazonas
Faculdade de Tecnologia

Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Produção

01 INTRODUÇÃO

02 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

03 **Metodologia**

04 Experimentos e Resultados

05 CONCLUSÕES

06 CONTRIBUIÇÕES

SUFRAMA
SUPERINTENDÊNCIA DA ZONA FRANCA DE MANAUS

Introdução

Contextualização
Formulação do Problema
Objetivos
Justificativa

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

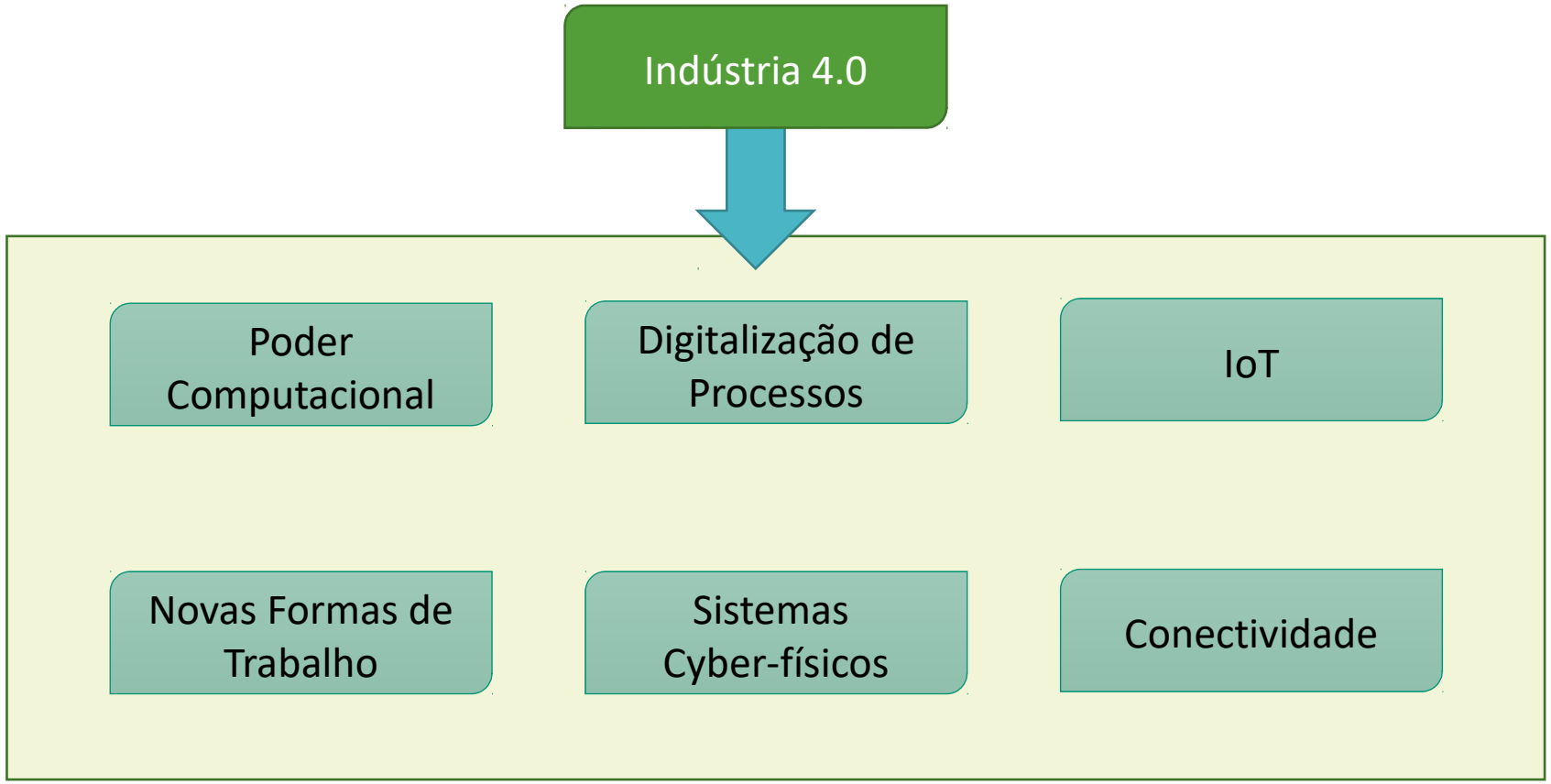
Conclusões

Contribuições

Referências

Introdução

Contextualização



Introdução

Contextualização
Formulação do Problema
Objetivos
Justificativa

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

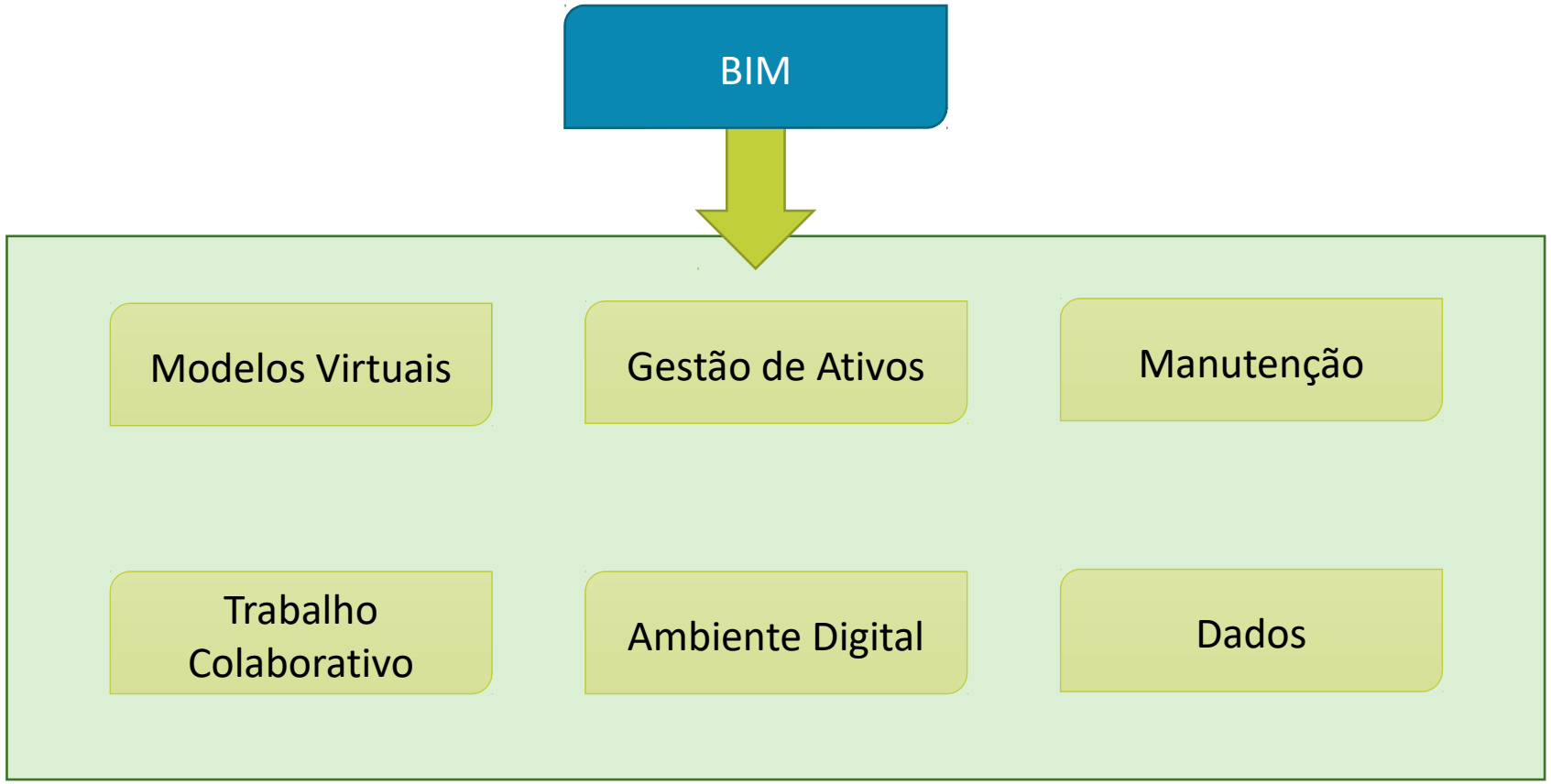
Conclusões

Contribuições

Referências

Introdução

Contextualização



Introdução

Contextualização
Formulação do Problema
Objetivos
Justificativa

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Conclusões

Contribuições

Referências

Introdução

Contextualização

Industria 4.0

- IoT
- Sistemas Cyber-físicos
- Digitalização de processos
- Avanço computacional
- Conectividade
- Novas formas de Trabalho

BIM

- Modelos Virtuais
- Gestão de Ativos
- Manutenção Predial
- Ambiente Digital
- Coleta de dados
- Trabalho colaborativo

Desafios

- Otimização de processos;
- Dados em tempo real;
- Representação precisa;
- Controle de custos;
- Monitoramento;
- Gestão dinâmica;
- Projetos mais complexos.

Introdução

Contextualização
Formulação do Problema
Objetivos
Justificativa

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Conclusões

Contribuições

Referências

Introdução

Formulação do Problema

Como manter e controlar o patrimônio edificado com base na coleta de dados, facilitando a tomada de decisão para a manutenção das edificações?

Introdução

Contextualização
Formulação do Problema
Objetivos
Justificativa

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Conclusões

Contribuições

Referências

Introdução

Justificativa

Elementos que justificam o estudo:

- Necessidade de maior controle e gestão dos ativos públicos;
- Acesso e controle de dados para tomada de decisões;
- Geração de informações para tomada de decisões mais ágeis;
- Integração de dados de campo ao ambiente digital;
- Projetos de manutenção mais racionais e precisos (por demanda);
- Plataformas que facilitem a visualização de dados;
- Otimização de recursos e ações em tempo real;
- Eficiência energética.

Introdução

Contextualização
Formulação do Problema
Objetivos
Justificativa

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Conclusões

Contribuições

Referências

Objetivo Geral

Criar um modelo de monitoramento virtual, com integração BIM-IoT em ambientes e equipamentos que estejam inseridos em uma edificação pública existente.

Objetivos Específicos

- Identificar os modelos de monitoramento virtual e manutenção de edificações públicas.
- Caracterizar o modelo de interoperabilidade, baseado na integração dados de uma rede de sensores a estrutura BIM.
- Avaliar o modelo em ambiente operacional de manutenção de prédios públicos.

Introdução

Revisão Bibliográfica

BIM
Interoperabilidade
Medição e monitoramento

Metodologia

Experimentos e Resultados

Conclusões

Contribuições

Referências

Revisão Bibliográfica

BIM – Building Information Modelling

Introdução

Revisão Bibliográfica

BIM
Interoperabilidade
Medição e monitoramento

Metodologia

Experimentos e Resultados

Conclusões

Contribuições

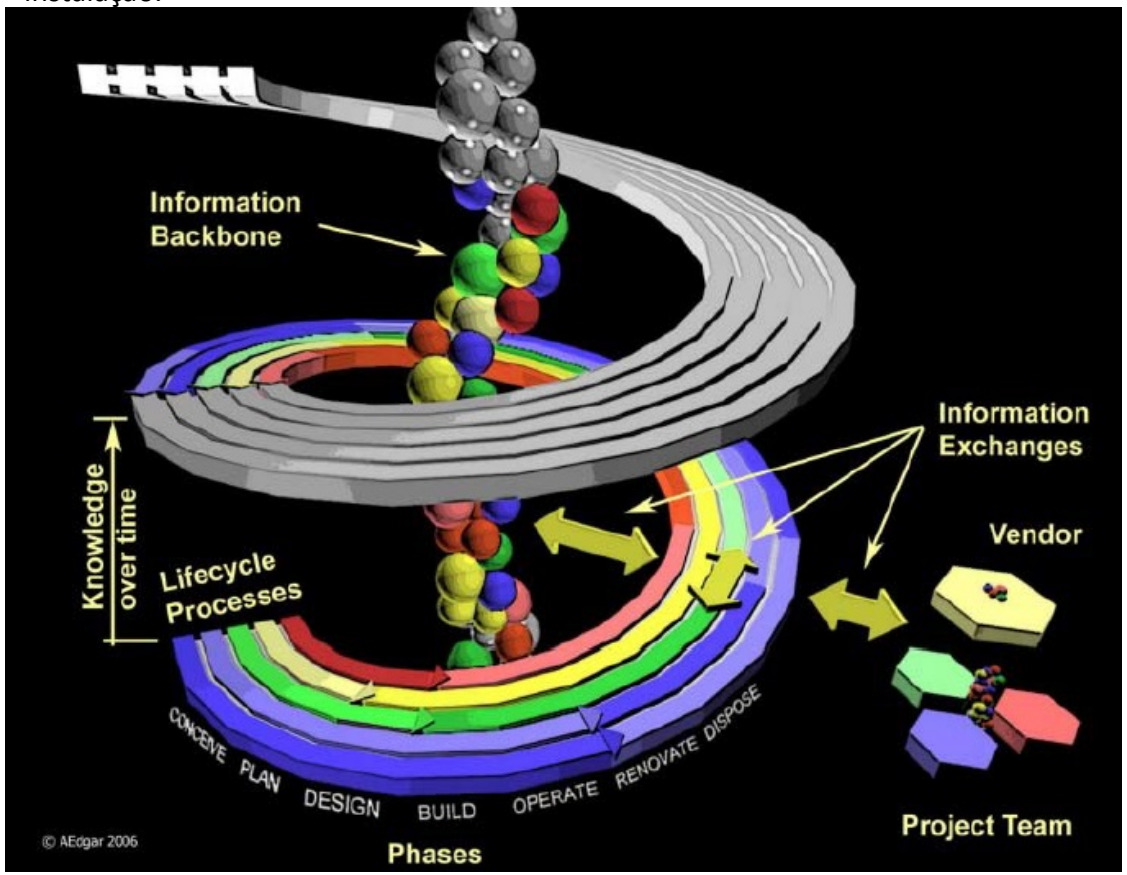
Referências

Revisão Bibliográfica

BIM – Building Information Modelling

Ciclo de Vida de uma Edificação

Figura 1 – Repositório das informações BIM ao longo do ciclo de vida de uma instalação.



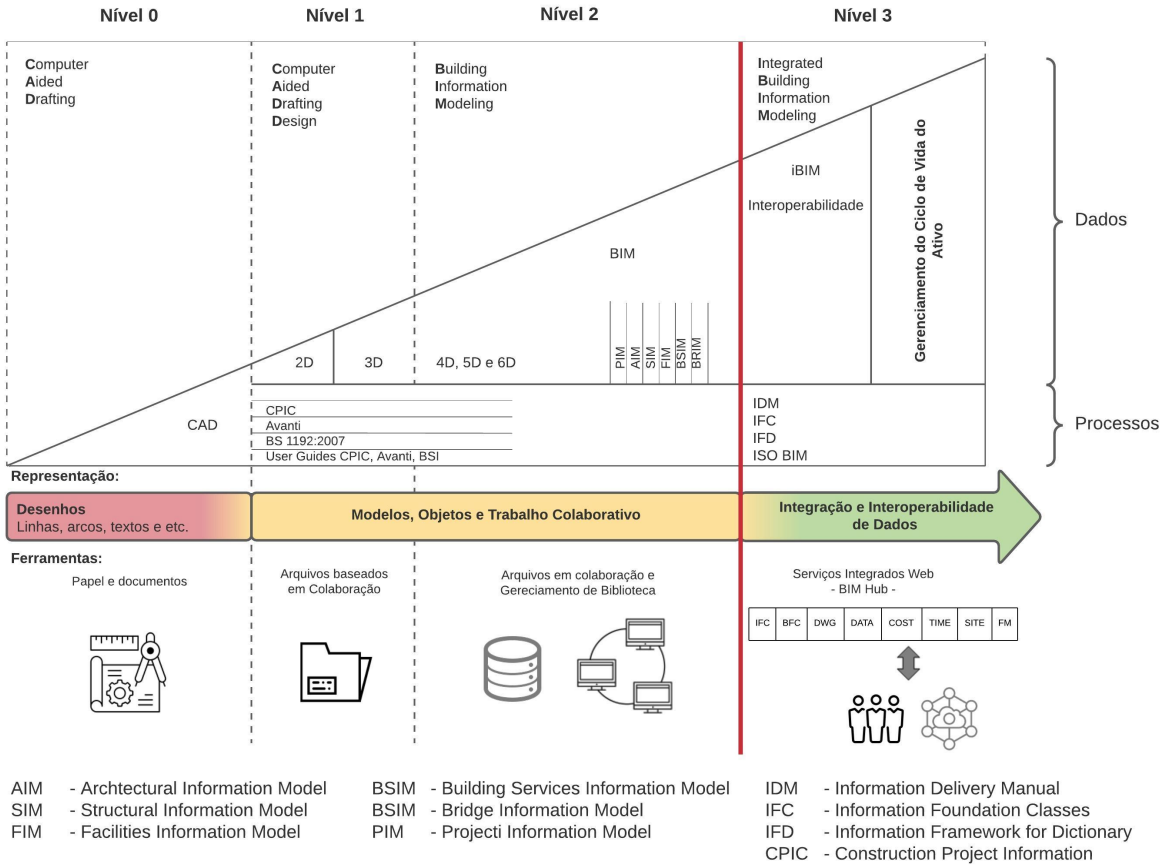
Fonte: NIBS (2007).

Revisão Bibliográfica

BIM – Building Information Modelling

Nível de Maturidade BIM

Figura 2 – Modelo de Maturidade Bew-Richards.



AIM - Archtectural Information Model
SIM - Structural Information Model
FIM - Facilities Information Model

BSIM - Building Services Information Model
BSIM - Bridge Information Model
PIM - Projecti Information Model

IDM - Information Delivery Manual
IFC - Information Foundation Classes
IFD - Information Framework for Dictionary
CPIC - Construction Project Information

Fonte: BIM Industry Working Group (2011).

Introdução

Revisão Bibliográfica

BIM
Interoperabilidade
Medição e monitoramento

Metodologia

Experimentos e Resultados

Conclusões

Contribuições

Referências

Revisão Bibliográfica

BIM – Building Information Modelling

Manutenção Predial

Estrutura Tradicional

- Dados
- Documentação
  - As Built
  - Manual do Usuário
  - Projetos
    - Arquitetura
    - Estrutura
    - Instalações

BIM

- Projeto(s)
- Compatibilização
- Detecção de Clash
- Gestão das informações
- Compatibilizações
- Acompanha a vida da edificação

Gestão da Manutenção

- Monitora/ Rastreia
- Verifica/Valida
- Trata/Recupera
- Garante a vida útil de projeto
- Acompanha a edificação durante a sua vida útil
- Armazena informações

Introdução

Revisão Bibliográfica

BIM
Interoperabilidade
Medição e monitoramento

Metodologia

Experimentos e Resultados

Conclusões

Contribuições

Referências

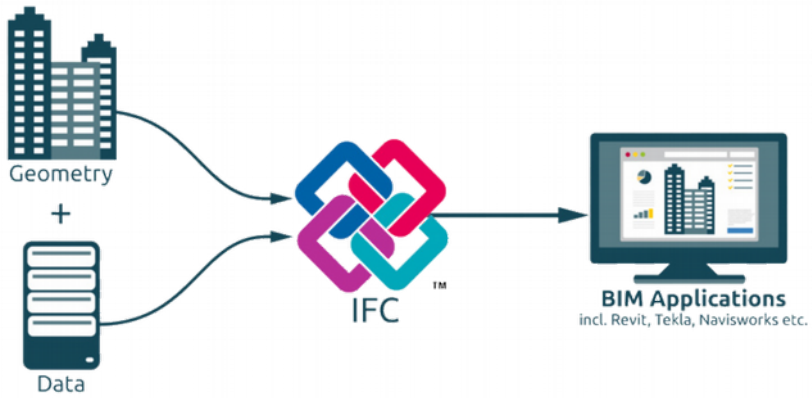
Revisão Bibliográfica

Interoperabilidade BIM-IoT

Formatos e dados interoperáveis IFC e COBie

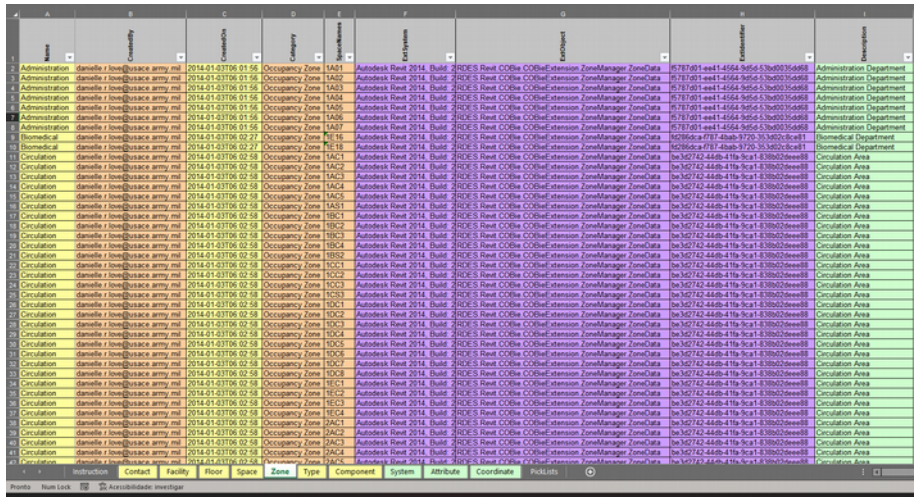
- Gerenciamento de informações;
- Sincronicidade e atualização;
- Arquivos compatíveis com outros sistemas (.ifc, planilhas em .csv, .xls e etc.).

Figura 3 – Modelagem IFC em aplicações BIM.



Fonte: BIM Community (2018).

Figura 4 – Exemplo de planilha COBie extraída de modelo do REVIT.



Fonte: Autodesk (2022).

Introdução

Revisão Bibliográfica

BIM
Interoperabilidade
Medição e monitoramento

Metodologia

Experimentos e Resultados

Conclusões

Contribuições

Referências

Revisão Bibliográfica

Medição e Monitoramento de Sistemas

Serverless Computing

Vantagens:

- Eliminação de gerenciamento de uma infraestrutura física;
- Rapidez no desenvolvimento de soluções;
- Dimensionamento automático da infraestrutura necessária;
- Capacidade de processamento e armazenamento elevada;
- Possibilidade do servidor executar códigos em sua própria plataforma.

Características:

- Toda infraestrutura de processamento é invisível para o desenvolvedor;
- Serviços hospedados em nuvem, e possibilita hibrido com rede local;
- Serviço ideal para execuções contínuas e prolongadas;
- Facilita execuções pré-programadas e emissão de alertas.

Introdução

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Desenvolvimento do Modelo
Dispositivos
Sensor de Temperatura
Sensor de Aceleração
Sensor de Corrente Elétrica

Experimentos e Resultados

Conclusões

Contribuições

Referências

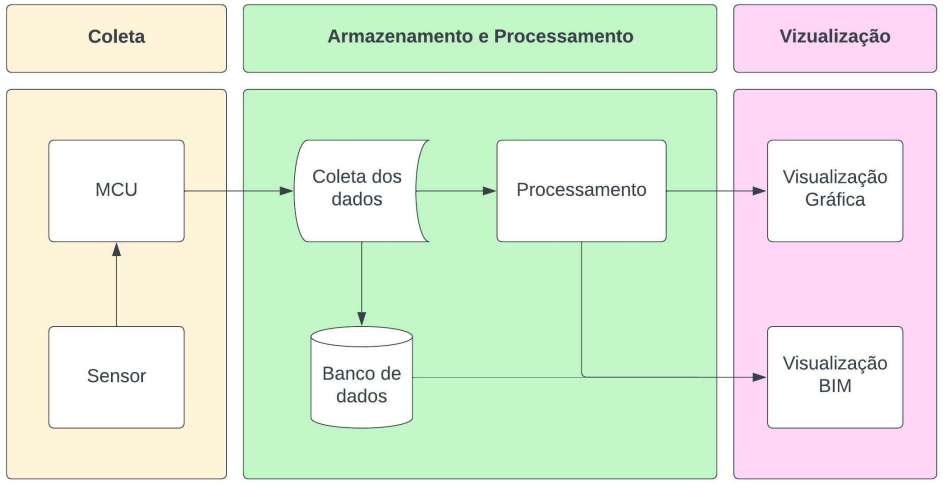
Metodologia

Desenvolvimento do Modelo

Desenvolvimento de um modelo

- Monitoramento e Coleta de dados;
- Utilização de sensores;
- Aplicação em edificações existentes;
- Plataforma em nuvem;
- Integração BIM-IoT;
- Visualização dos dados via web.

Figura 6 – Modelagem IFC em aplicações BIM.



Fonte: Autoria Própria.

Introdução

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Desenvolvimento do Modelo
Dispositivos
Sensor de Temperatura
Sensor de Aceleração
Sensor de Corrente Elétrica

Experimentos e Resultados

Conclusões

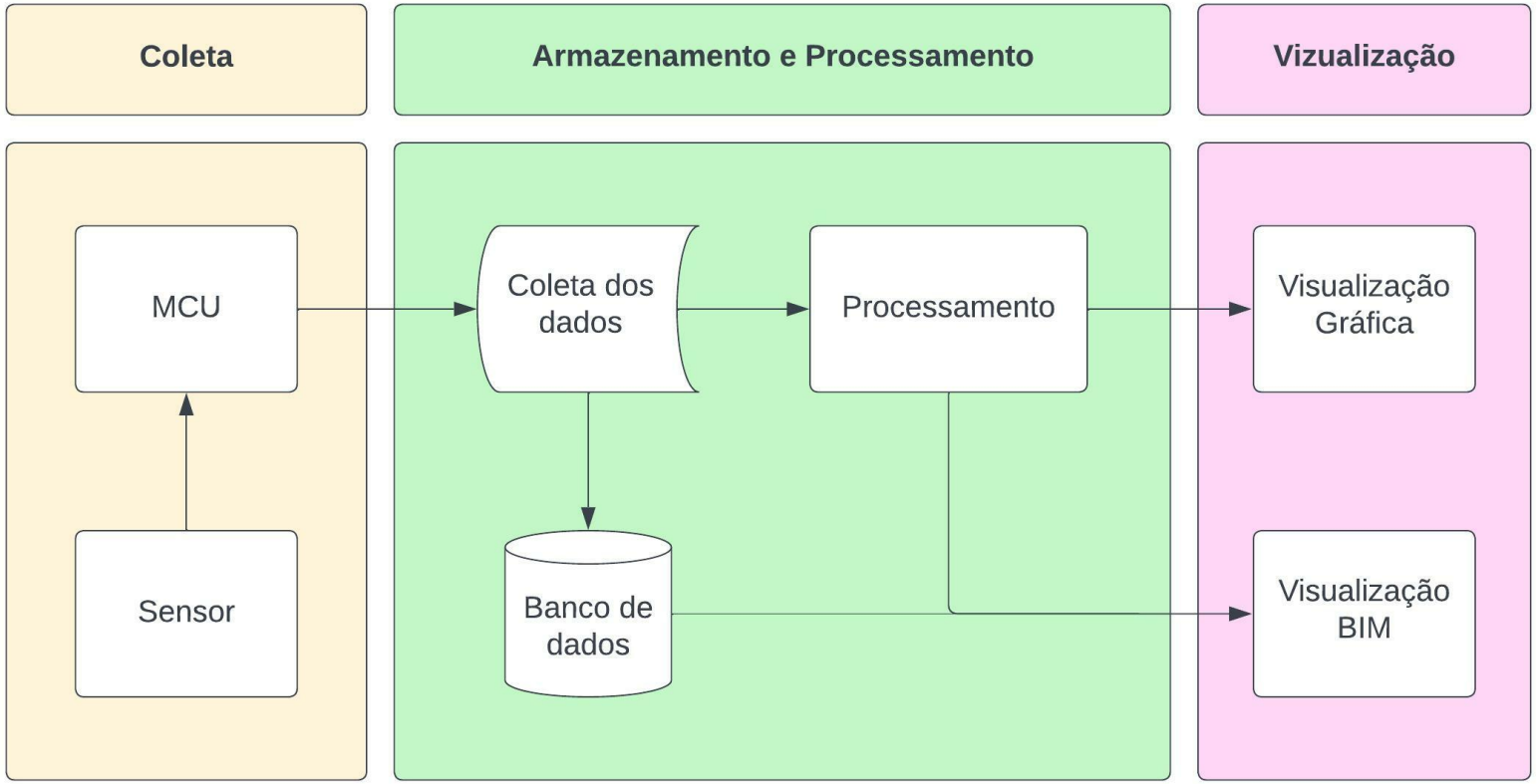
Contribuições

Referências

Metodologia

Desenvolvimento do Modelo

Figura 6 – Modelagem IFC em aplicações BIM.



Fonte: Autoria Própria.

Introdução

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Desenvolvimento do Modelo
Dispositivos
Sensor de Temperatura
Sensor de Aceleração
Sensor de Corrente Elétrica

Experimentos e Resultados

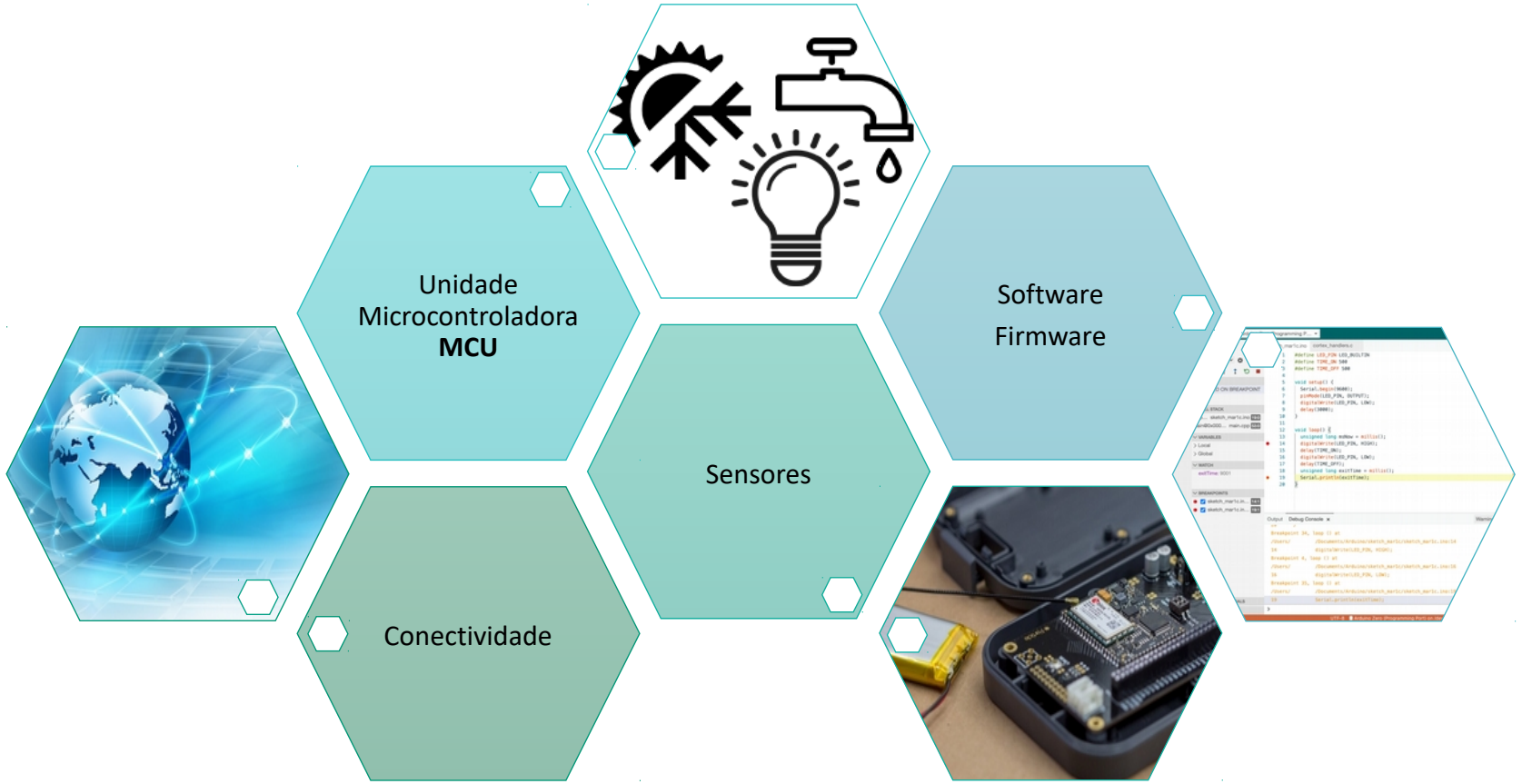
Conclusões

Contribuições

Referências

Metodologia

Desenvolvimento dos Dispositivos



Fonte: Autoria Própria.

Introdução

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Setup Experimental

Ambiente Físico
Ambiente Digital
Microcontrolador
Sensor de Temperatura
Sensor de Aceleração
Sensor de Corrente Elétrica
Experimentos Realizados
Experimento 1
Experimento 2
Experimento 3
Desen. Plataforma

Resultados

Modelo BIM-IoT
Camada Física
Camada Digital

Conclusões

Contribuições

Referências

Experimentos e Resultados

Setup Experimental

Ambiente Físico

Caracterização da Edificação

- Coleta de dados em campo
- Pesquisa documental
- Pesquisa de projetos existentes
- Investigação preliminar

Figura 7 – Vista aérea da SUFRAMA.

Fonte: Autoria Própria.

Introdução

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Setup Experimental

Ambiente Físico
Ambiente Digital
Microcontrolador
Sensor de Temperatura
Sensor de Aceleração
Sensor de Corrente Elétrica
Experimentos Realizados
Experimento 1
Experimento 2
Experimento 3
Desen. Plataforma

Resultados

Modelo BIM-IoT
Camada Física
Camada Digital

Conclusões

Contribuições

Referências

Experimentos e Resultados

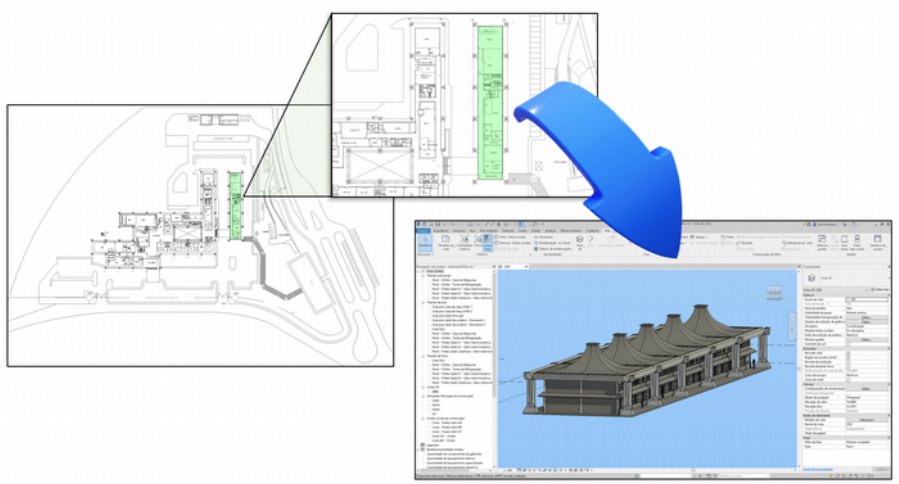
Setup Experimental

Ambiente Físico

Caracterização da Edificação

- Coleta de dados em campo;
- Pesquisa documental;
- Pesquisa de projetos existentes.

Figura 8 – Esquema de modelagem da edificação em BIM.



Fonte: Autoria Própria.

Modelagem da Edificação em Plataforma BIM

- Utilização de software autoral (*Revit Autodesk*);
- Compatibilização durante a realização do projeto;
- Modelagem de parte da edificação.

Introdução

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Setup Experimental

Ambiente Físico
Ambiente Digital
Microcontrolador
Sensor de Temperatura
Sensor de Aceleração
Sensor de Corrente Elétrica
Experimentos Realizados
Experimento 1
Experimento 2
Experimento 3
Desen. Plataforma

Resultados

Modelo BIM-IoT
Camada Física
Camada Digital

Conclusões

Contribuições

Referências

Experimentos e Resultados

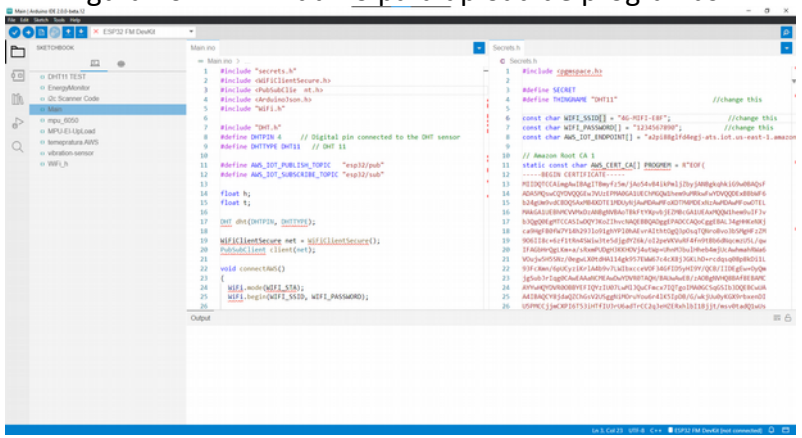
Setup Experimental

Ambiente Digital

Componentes e Dispositivos

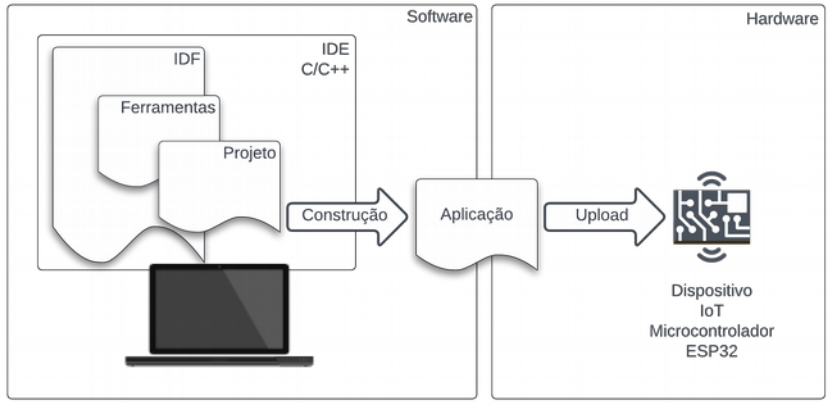
- **Placas Microcontroladoras (MCU)**
- Sensores:
  - Temperatura e umidade
  - Acelerômetro
  - Corrente Elétrica

Figura 10 – IDE Arduino para upload de programas.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 11 – Esquema de upload no dispositivo ESP-32.



Fonte: Autoria Própria.

Introdução

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Setup Experimental

Ambiente Físico
Ambiente Digital
Microcontrolador
Sensor de Temperatura
Sensor de Aceleração
Sensor de Corrente Elétrica
Experimentos Realizados
Experimento 1
Experimento 2
Experimento 3
Desen. Plataforma

Resultados

Modelo BIM-IoT
Camada Física
Camada Digital

Conclusões

Contribuições

Referências

Experimentos e Resultados

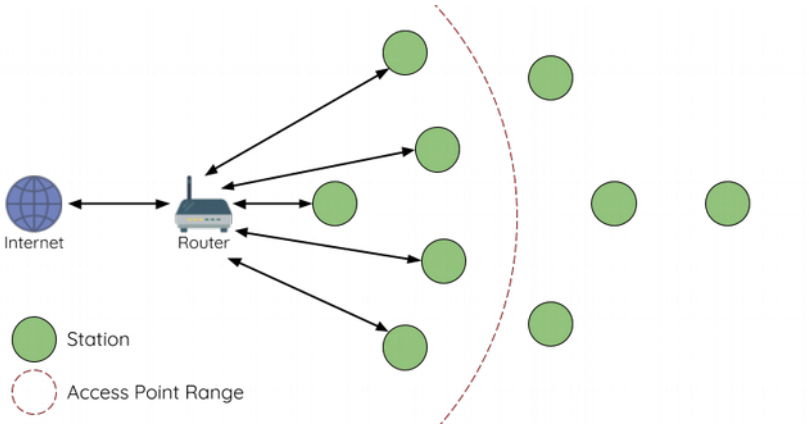
Setup Experimental

Ambiente Digital

Componentes e Dispositivos

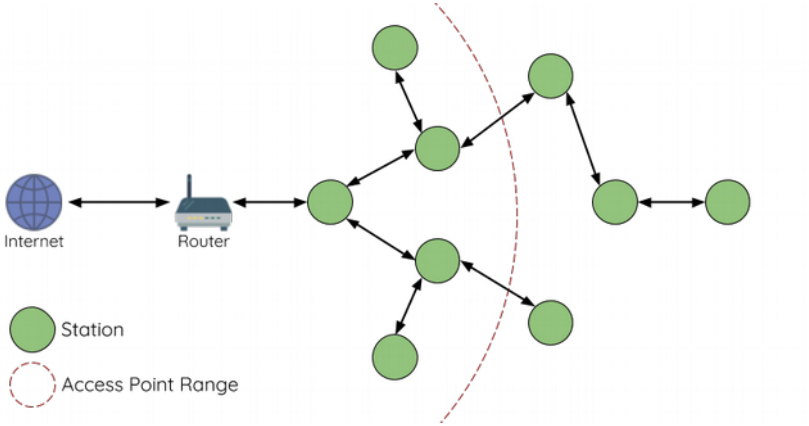
- **Placas Microcontroladoras (MCU)**
  - **Funcionalidades**
    - Conectividade
      - Redes *Wi-fi*
      - Redes *Wi-fi Mesh*
    - Coleta dos dados
    - Armazenamento dos dados
    - Transmissão

Figura 12 – Arquitetura tradicional da rede Wi-Fi.



Fonte: Espressif (2022).

Figura 13 – Arquitetura da rede ESP-WIFI-MESH.



Fonte: Espressif (2022).

Introdução

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Setup Experimental

Ambiente Físico
Ambiente Digital
Microcontrolador
Sensor de Temperatura
Sensor de Aceleração
Sensor de Corrente Elétrica
Experimentos Realizados
Experimento 1
Experimento 2
Experimento 3
Desen. Plataforma

Resultados

Modelo BIM-IoT
Camada Física
Camada Digital

Conclusões

Contribuições

Referências

Experimentos e Resultados

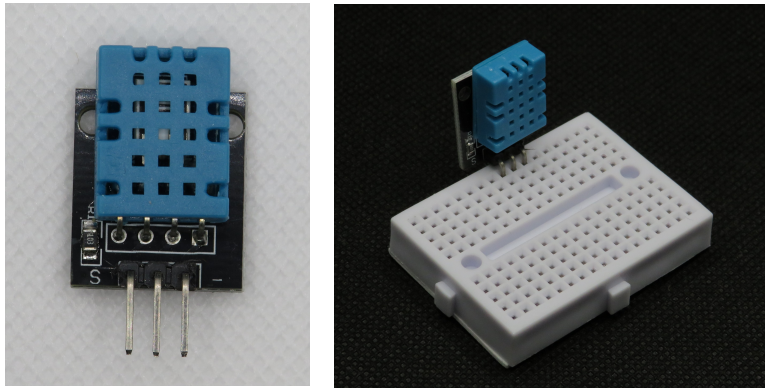
Setup Experimental

Ambiente Digital

Componentes e Dispositivos

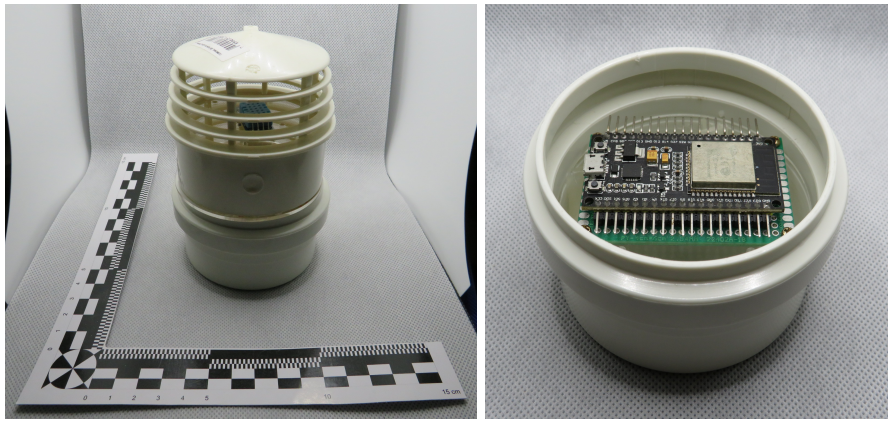
- Placas Microcontroladoras (MCU)
- Sensores:
  - **Temperatura e umidade**
  - Acelerômetro
  - Corrente Elétrica

Figura 14 – Node MCU ESP32 WROOM.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 15 – Node MCU ESP32 WROOM.



Fonte: Autoria Própria.

Introdução

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Setup Experimental

Ambiente Físico
Ambiente Digital
Microcontrolador
Sensor de Temperatura
Sensor de Aceleração
Sensor de Corrente Elétrica
Experimentos Realizados
Experimento 1
Experimento 2
Experimento 3
Desen. Plataforma

Resultados

Modelo BIM-IoT
Camada Física
Camada Digital

Conclusões

Contribuições

Referências

Experimentos e Resultados

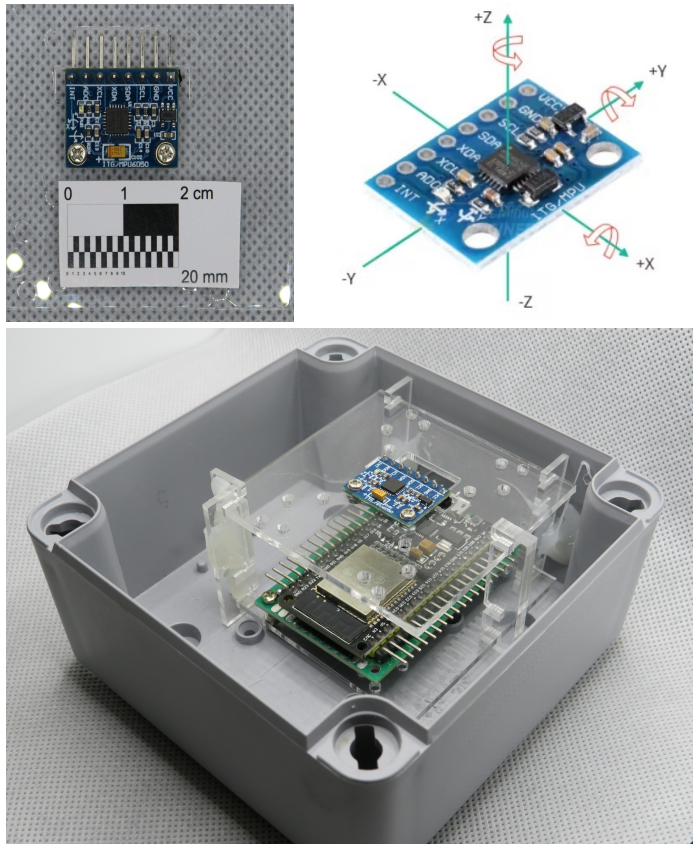
Setup Experimental

Ambiente Digital

Componentes e Dispositivos

- Placas Microcontroladoras (MCU)
- Sensores:
  - Temperatura e umidade
  - **Acelerômetro**
  - Corrente Elétrica

Figura 16 – Dispositivo para medição de vibração.



Fonte: Autoria Própria.

Introdução

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Setup Experimental

Ambiente Físico
Ambiente Digital
Microcontrolador
Sensor de Temperatura
Sensor de Aceleração
Sensor de Corrente Elétrica
Experimentos Realizados
Experimento 1
Experimento 2
Experimento 3
Desen. Plataforma

Resultados

Modelo BIM-IoT
Camada Física
Camada Digital

Conclusões

Contribuições

Referências

Experimentos e Resultados

Setup Experimental

Ambiente Digital

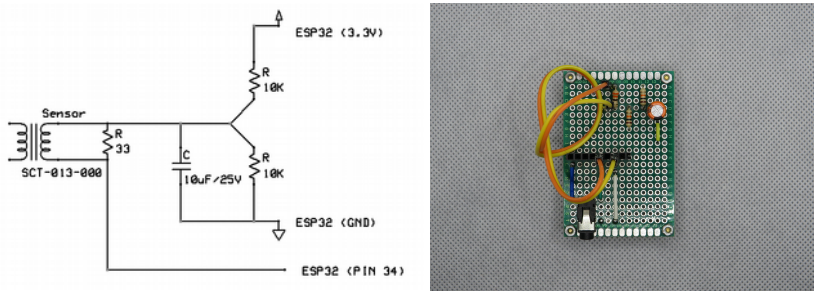
Componentes e Dispositivos

- Placas Microcontroladoras (MCU)
- Sensores:
  - Temperatura e umidade
  - Acelerômetro
  - **Corrente Elétrica**

Figura 17 – Dispositivo para medição de corrente elétrica.

Fonte: Autoria Própria.

Figura 18 – Desenvolvimento de filtro para sinal de corrente.



Fonte: Autoria Própria.

Introdução

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Setup Experimental

Ambiente Físico
Ambiente Digital
Microcontrolador
Sensor de Temperatura
Sensor de Aceleração
Sensor de Corrente Elétrica
Experimentos Realizados
Experimento 1
Experimento 2
Experimento 3
Desen. Plataforma

Resultados

Modelo BIM-IoT
Camada Física
Camada Digital

Conclusões

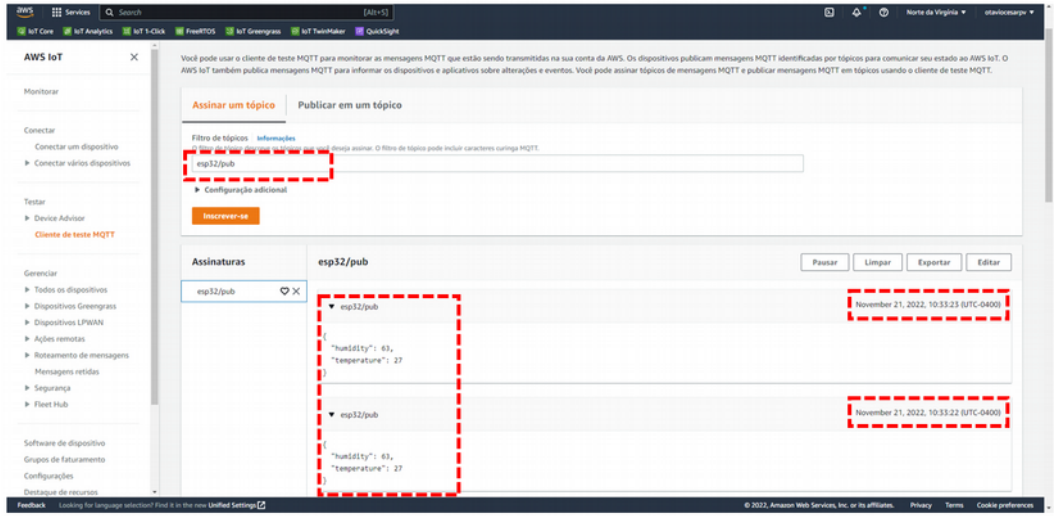
Contribuições

Referências

Experimentos e Resultados

Experimentos Realizados

Experimento 1 – Monitoramento e Análise Térmica de Ambientes



Introdução

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Setup Experimental

Ambiente Físico
Ambiente Digital
Microcontrolador
Sensor de Temperatura
Sensor de Aceleração
Sensor de Corrente Elétrica
Experimentos Realizados
Experimento 1
Experimento 2
Experimento 3
Desen. Plataforma

Resultados

Modelo BIM-IoT
Camada Física
Camada Digital

Conclusões

Contribuições

Referências

Experimentos e Resultados

Experimentos Realizados

Experimento 1 – Monitoramento e Análise Térmica de Ambientes

Tópico de chamada →

Dados recebidos pelo servidor AWS →

Marco temporal →

Introdução

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Setup Experimental

Ambiente Físico
Ambiente Digital
Microcontrolador
Sensor de Temperatura
Sensor de Aceleração
Sensor de Corrente Elétrica
Experimentos Realizados
Experimento 1
Experimento 2
Experimento 3
Desen. Plataforma

Resultados

Modelo BIM-IoT
Camada Física
Camada Digital

Conclusões

Contribuições

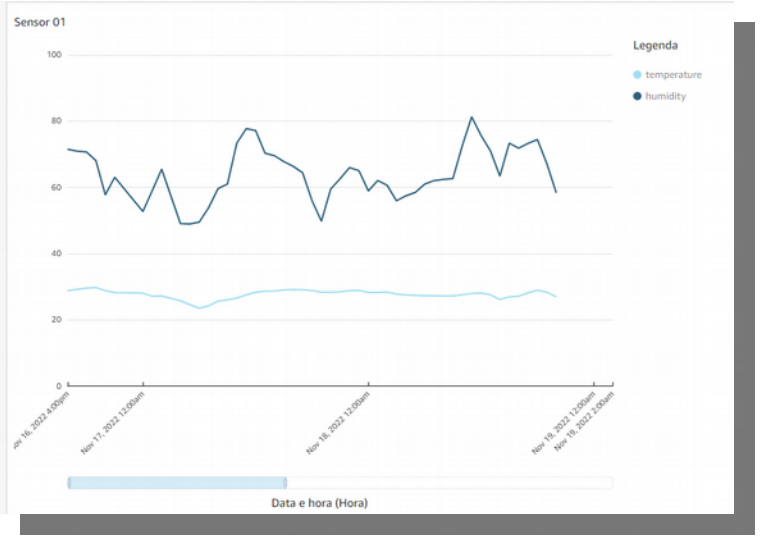
Referências

Experimentos e Resultados

Experimentos Realizados

Experimento 1 – Monitoramento e Análise Térmica de Ambientes

Figura 20 – Gráfico de temperatura e umidade da plataforma *AWS - QuickSight Dashboard*.



Fonte: Autoria Própria.

Introdução

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Setup Experimental

Ambiente Físico
Ambiente Digital
Microcontrolador
Sensor de Temperatura
Sensor de Aceleração
Sensor de Corrente Elétrica
Experimentos Realizados
Experimento 1
Experimento 2
Experimento 3
Desen. Plataforma

Resultados

Modelo BIM-IoT
Camada Física
Camada Digital

Conclusões

Contribuições

Referências

Experimentos e Resultados

Experimentos Realizados

Experimento 1 – Monitoramento e Análise Térmica de Ambientes

esp32/pub

esp32/pub

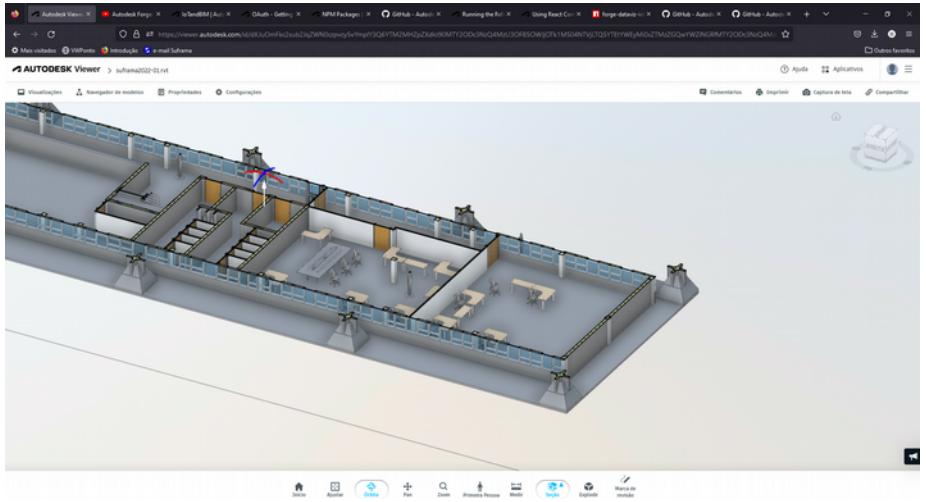

```
{
  "humidity": 63,
  "temperature": 27
}
```


esp32/pub


```
{
  "humidity": 63,
  "temperature": 27
}
```


November 21, 2022, 10:33:23 (UTC-0400)

Figura 21 – Gráfico de temperatura e umidade da plataforma *Forge (Autodesk)*.



Fonte: Autoria Própria.

Introdução

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Setup Experimental

Ambiente Físico
Ambiente Digital
Microcontrolador
Sensor de Temperatura
Sensor de Aceleração
Sensor de Corrente Elétrica
Experimentos Realizados
Experimento 1
Experimento 2
Experimento 3
Desen. Plataforma

Resultados

Modelo BIM-IoT
Camada Física
Camada Digital

Conclusões

Contribuições

Referências

Experimentos e Resultados

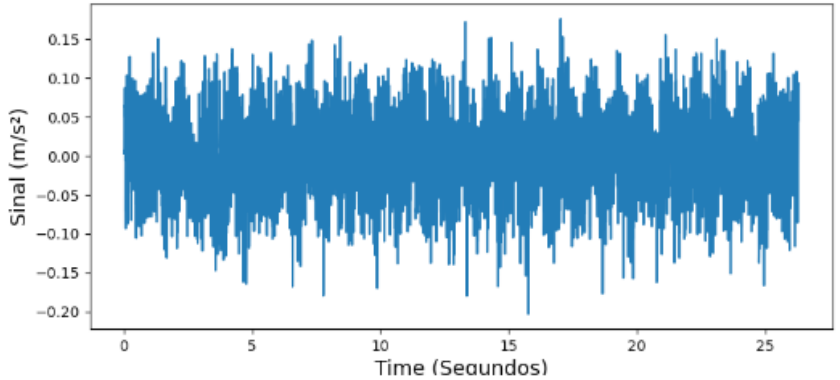
Experimentos Realizados

Experimento 2 – Monitoramento e Análise Vibracional

Etapas:

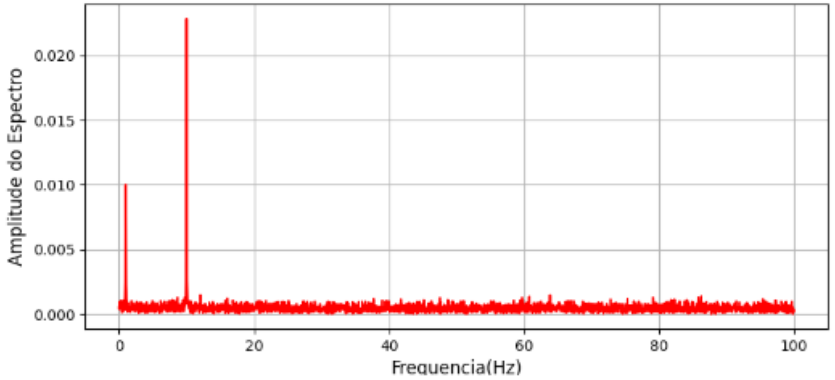
- Configuração do dispositivo;
- Instalação do sensor do equipamento;
- Envio dos dados;
- Análise vibracional.

Figura 22 – Gráfico do sinal obtido do acelerômetro.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 23 – Gráfico amplitude obtido do acelerômetro após FFT.



Fonte: Autoria Própria.

Introdução

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Setup Experimental

Ambiente Físico
Ambiente Digital
Microcontrolador
Sensor de Temperatura
Sensor de Aceleração
Sensor de Corrente Elétrica
Experimentos Realizados
Experimento 1
Experimento 2
Experimento 3
Desen. Plataforma

Resultados

Modelo BIM-IoT
Camada Física
Camada Digital

Conclusões

Contribuições

Referências

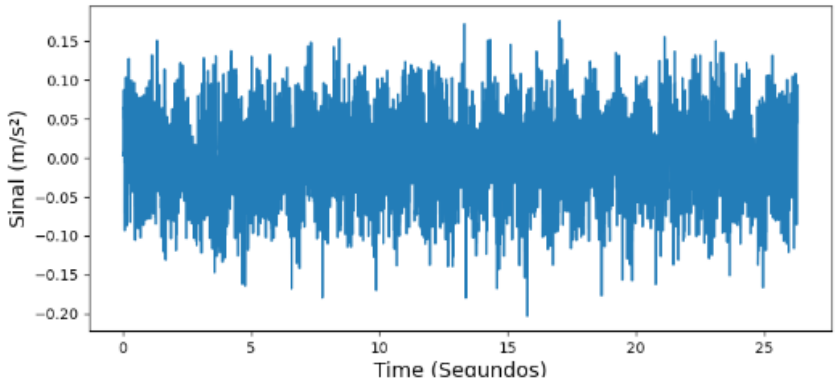
Experimentos e Resultados

Experimentos Realizados

Experimento 2 – Monitoramento e Análise Vibracional

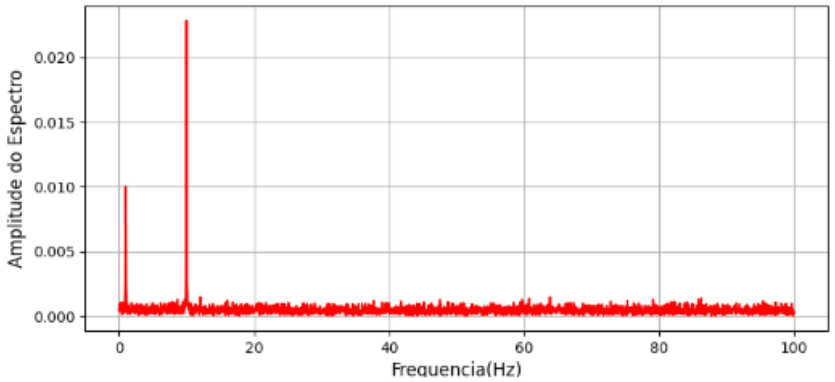
Plataforma:

- Plataforma AWS (Amazon Web Service)
  - *IoT Core*
  - *Jupyter ou SageMaker Studio*
  - *QuickSight*



Mecanismos de Cálculo:

- Análise do sinal
- Algoritmo de análise FFT



Equipamentos:

- *Fancoils e Facoletes*
- Compressores e motores rotativos

Introdução

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Setup Experimental

Ambiente Físico
Ambiente Digital
Microcontrolador
Sensor de Temperatura
Sensor de Aceleração
Sensor de Corrente Elétrica
Experimentos Realizados
Experimento 1
Experimento 2
Experimento 3
Desen. Plataforma

Resultados

Modelo BIM-IoT
Camada Física
Camada Digital

Conclusões

Contribuições

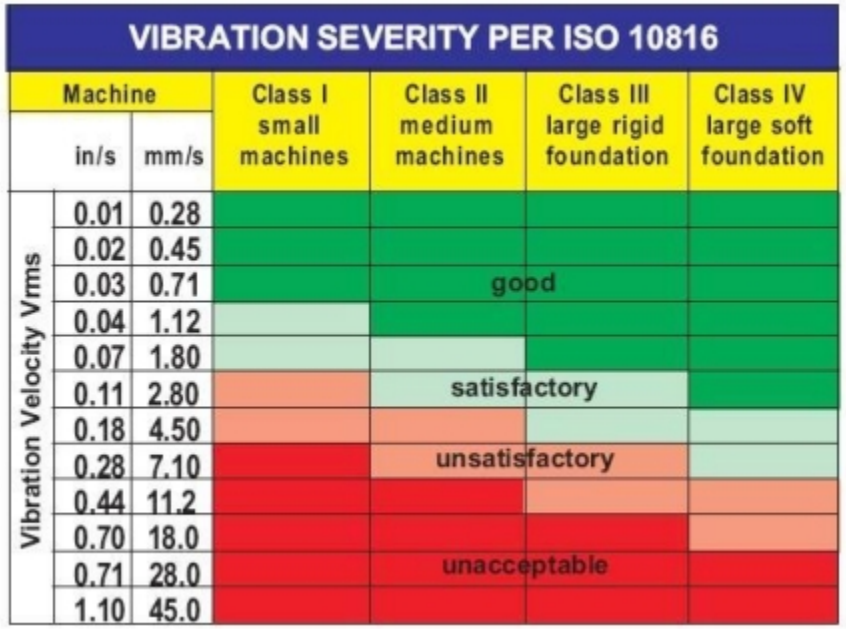
Referências

Experimentos e Resultados

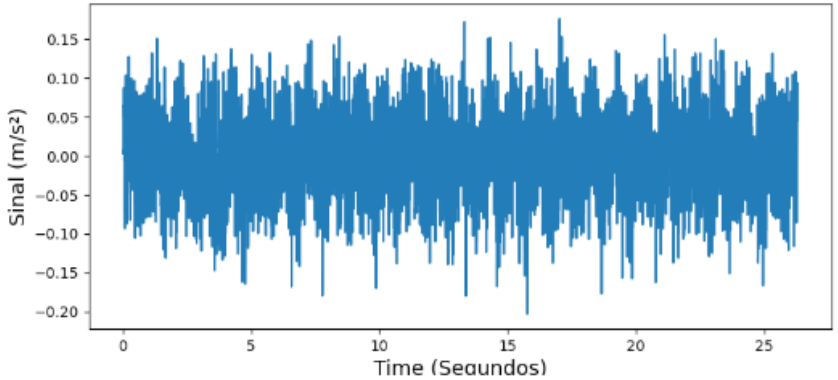
Experimentos Realizados

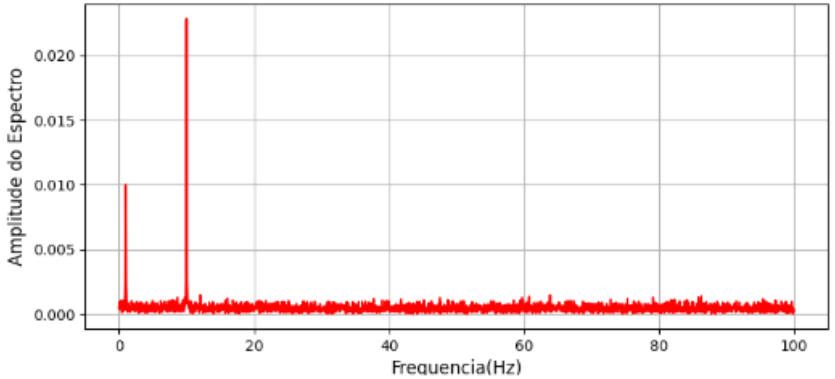
Experimento 2 – Monitoramento e Análise Vibracional

Figura 24 – Zonas de vibração e severidade.



Fonte: ISO 10.186-3





Introdução

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Setup Experimental

Ambiente Físico
Ambiente Digital
Microcontrolador
Sensor de Temperatura
Sensor de Aceleração
Sensor de Corrente Elétrica
Experimentos Realizados
Experimento 1
Experimento 2
Experimento 3
Desen. Plataforma

Resultados

Modelo BIM-IoT
Camada Física
Camada Digital

Conclusões

Contribuições

Referências

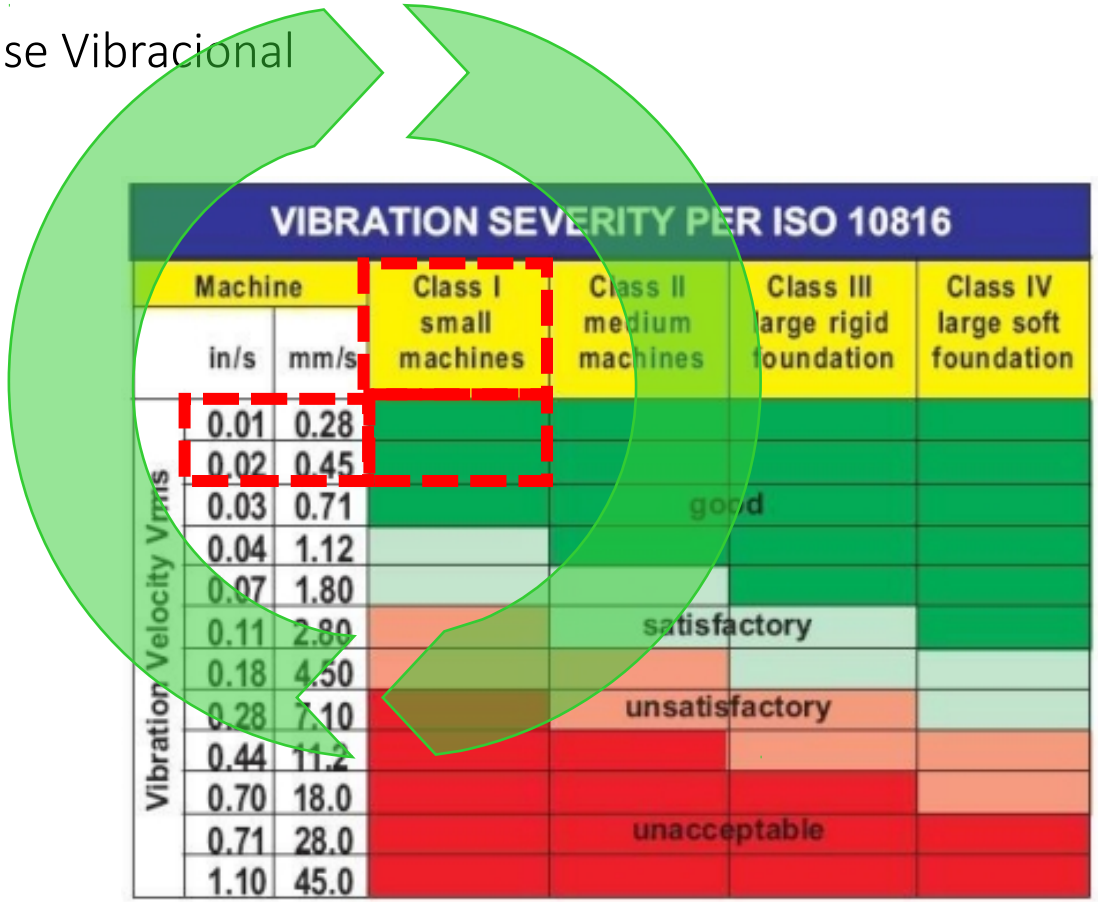
Experimentos e Resultados

Experimentos Realizados

Experimento 2 – Monitoramento e Análise Vibracional

Monitoramento

- Verificação contínua
- Montagem de série temporal
- Histórico do equipamento
- Parâmetros dinâmicos
- Emissão de alertas



VIBRATION SEVERITY PER ISO 10816

Vibration Velocity Vrms	Machine in/s	Machine mm/s	Class I small machines	Class II medium machines	Class III large rigid foundation	Class IV large soft foundation
	0.01	0.28				
	0.02	0.45				
	0.03	0.71		good		
	0.04	1.12				
	0.07	1.80				
	0.11	2.80		satisfactory		
	0.18	4.50				
	0.28	7.10		unsatisfactory		
	0.44	11.2				
	0.70	18.0				
	0.71	28.0		unacceptable		
	1.10	45.0				

Introdução

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Setup Experimental

Ambiente Físico
Ambiente Digital
Microcontrolador
Sensor de Temperatura
Sensor de Aceleração
Sensor de Corrente Elétrica
Experimentos Realizados
Experimento 1
Experimento 2
Experimento 3
Desen. Plataforma

Resultados

Modelo BIM-IoT
Camada Física
Camada Digital

Conclusões

Contribuições

Referências

Experimentos e Resultados

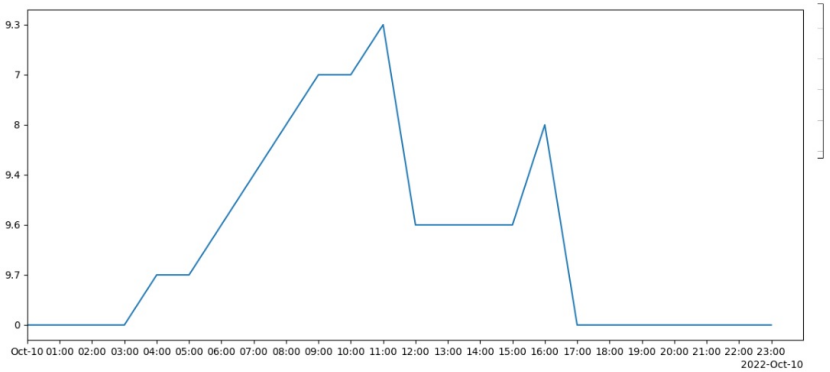
Experimentos Realizados

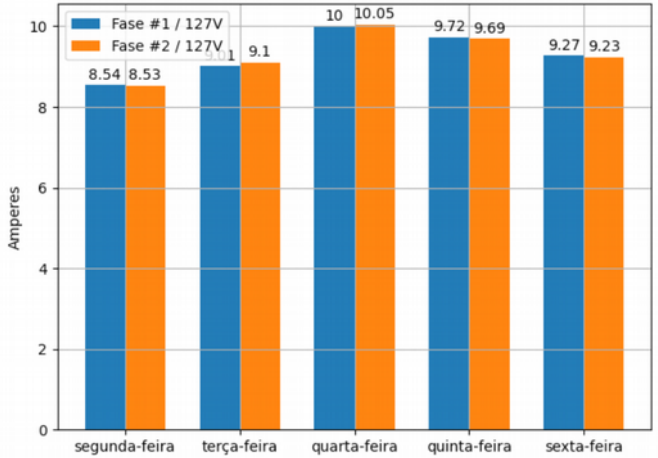
Experimento 3 – Monitoramento da Corrente Elétrica

Monitoramento

- Verificação contínua;
- Montagem de série temporal;
- Histórico de consumo;
- Histórico do equipamento;
- Parâmetros dinâmicos e cruzados;
- Tempo de funcionamento;
- Emissão de alertas e insights.

Figura 25 – Monitoramento da corrente elétrica de um compressor VRF ao longo de 24 horas durante cinco dias úteis.





Fonte: Autoria Própria.

Introdução

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Setup Experimental

Ambiente Físico
Ambiente Digital
Microcontrolador
Sensor de Temperatura
Sensor de Aceleração
Sensor de Corrente Elétrica
Experimentos Realizados
Experimento 1
Experimento 2
Experimento 3
Desen. Plataforma

Resultados

Modelo BIM-IoT
Camada Física
Camada Digital

Conclusões

Contribuições

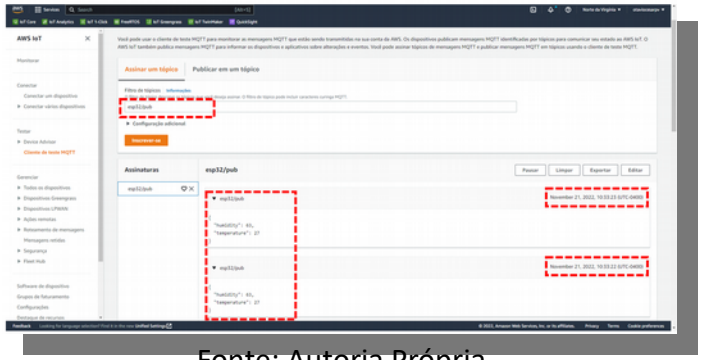
Referências

Experimentos e Resultados

Procedimentos Experimentais

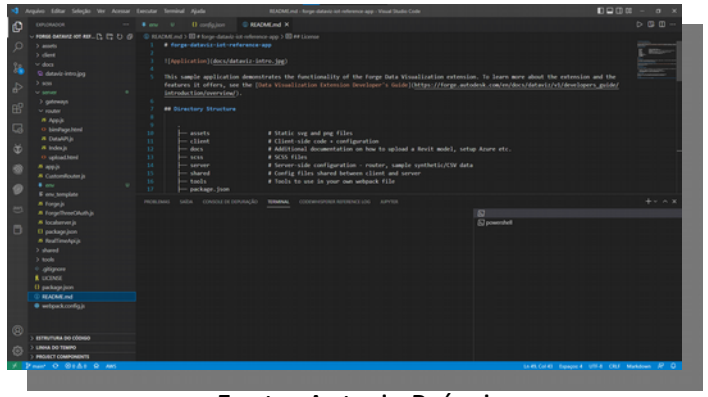
Desenvolvimento da Plataforma

Figura 26 – Plataforma AWS IoT Core.



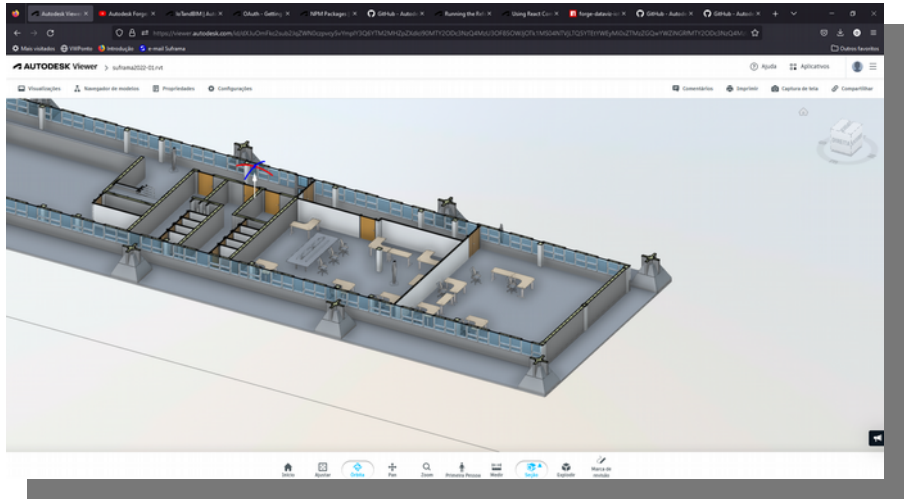
Fonte: Autoria Própria.

Figura 27 – Visual Studio Microsoft.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 28 - Plataforma Autodesk de visualização BIM web-based.



Fonte: Autoria Própria.

Introdução

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Setup Experimental

Ambiente Físico
Ambiente Digital
Microcontrolador
Sensor de Temperatura
Sensor de Aceleração
Sensor de Corrente Elétrica
Experimentos Realizados
Experimento 1
Experimento 2
Experimento 3
Desen. Plataforma

Resultados

Modelo BIM-IoT
Camada Física
Camada Digital

Conclusões

Contribuições

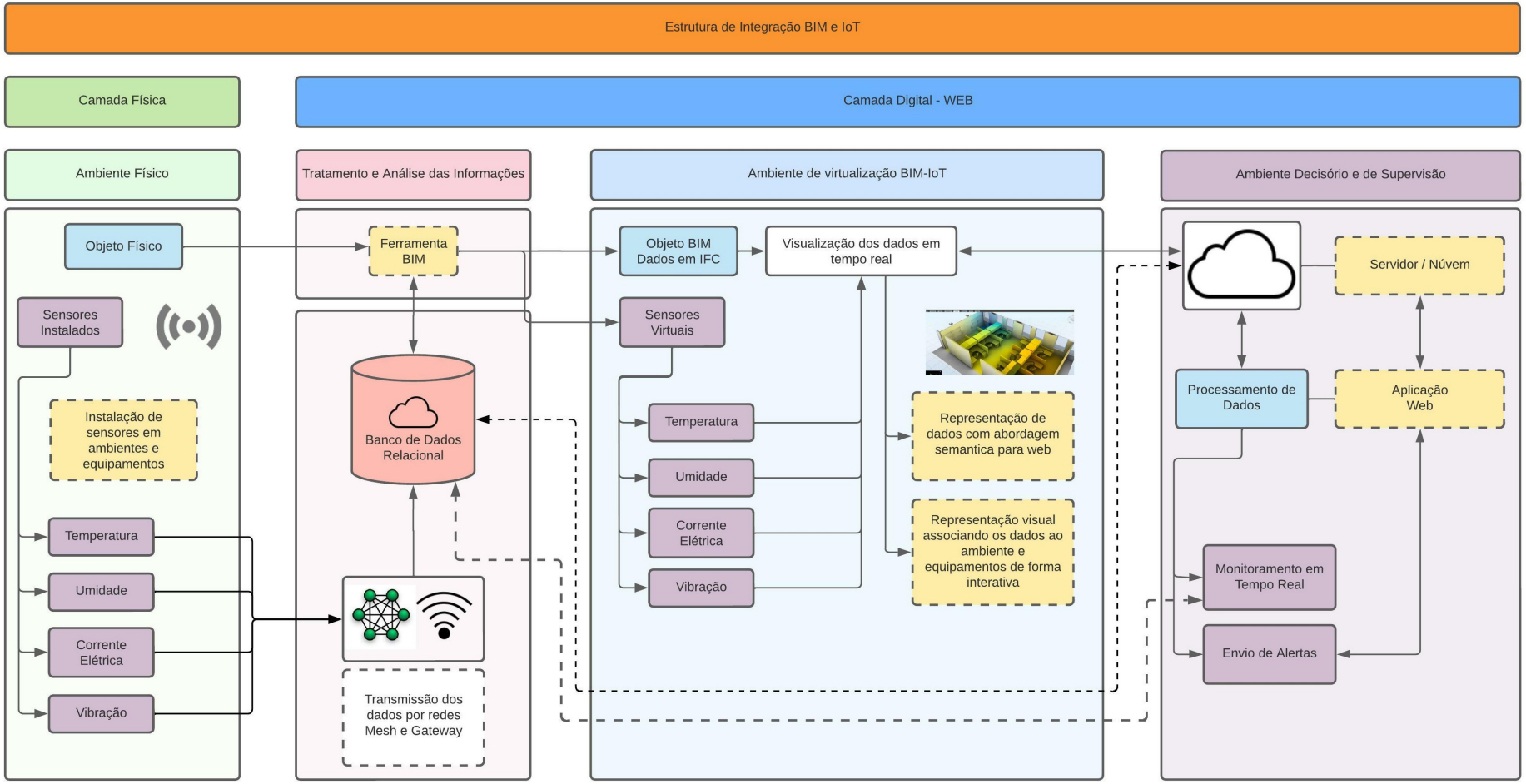
Referências

Experimentos e Resultados

Resultados

Modelo de Integração BIM-IoT

Figura 29 – Modelo de Integração BIM-IoT.



Fonte: Autoria Própria.

Introdução

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Setup Experimental

Ambiente Físico
Ambiente Digital
Microcontrolador
Sensor de Temperatura
Sensor de Aceleração
Sensor de Corrente Elétrica
Experimentos Realizados
Experimento 1
Experimento 2
Experimento 3
Desen. Plataforma

Resultados

Modelo BIM-IoT
Camada Física
Camada Digital

Conclusões

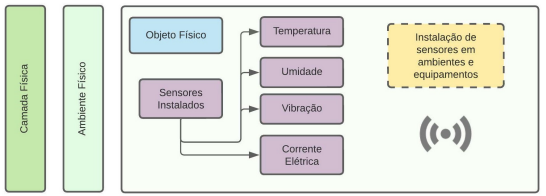
Contribuições

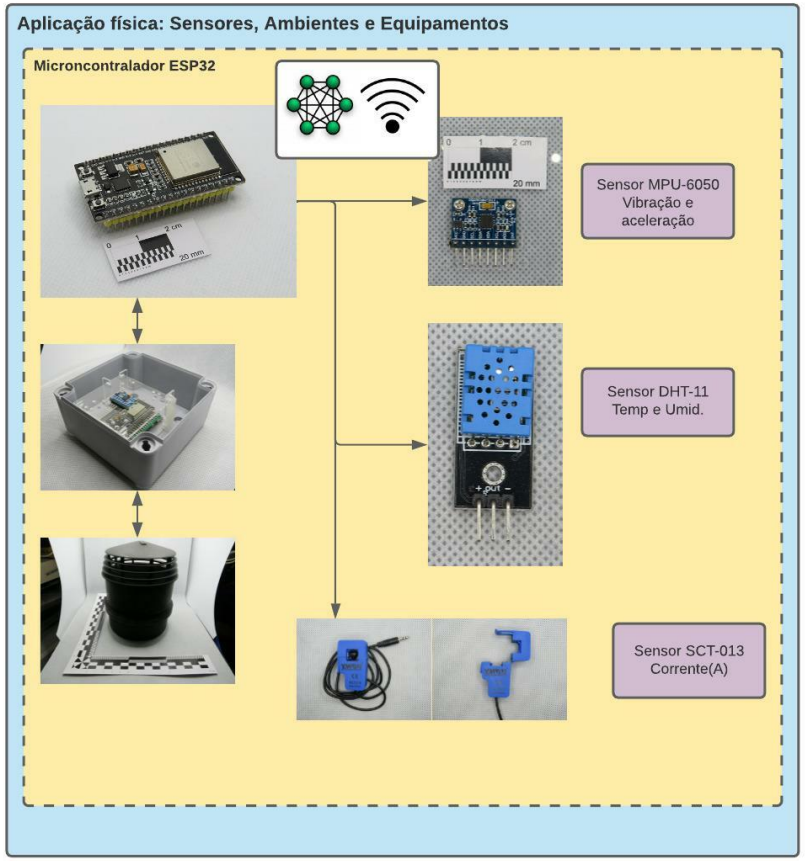
Referências

Experimentos e Resultados

Resultados

Camada Física





Introdução

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Setup Experimental

Ambiente Físico
Ambiente Digital
Microcontrolador
Sensor de Temperatura
Sensor de Aceleração
Sensor de Corrente Elétrica
Experimentos Realizados
Experimento 1
Experimento 2
Experimento 3
Desen. Plataforma

Resultados

Modelo BIM-IoT
Camada Física
Camada Digital

Conclusões

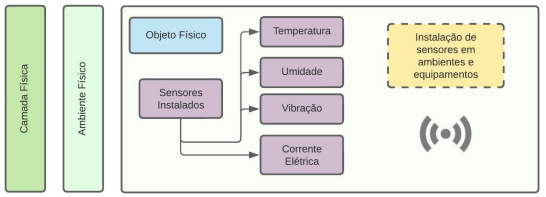
Contribuições

Referências

Experimentos e Resultados

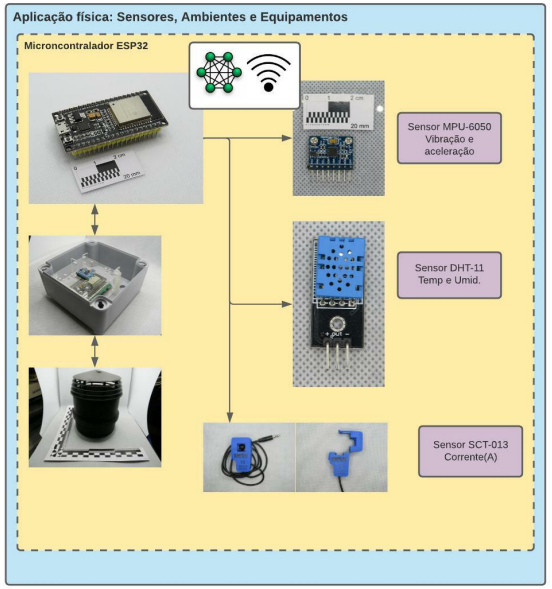
Resultados

Camada Física



Consiste em:

- Desenvolvimento e Montagem dos Dispositivos;
- Configuração dos sensores;
- Configuração de programas;
  - Coleta, operação e transmissão.
- Configuração da rede para o envio de dados.



Introdução

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Setup Experimental

Ambiente Físico
Ambiente Digital
Microcontrolador
Sensor de Temperatura
Sensor de Aceleração
Sensor de Corrente Elétrica
Experimentos Realizados
Experimento 1
Experimento 2
Experimento 3
Desen. Plataforma

Resultados

Modelo BIM-IoT
Camada Física
Camada Digital

Conclusões

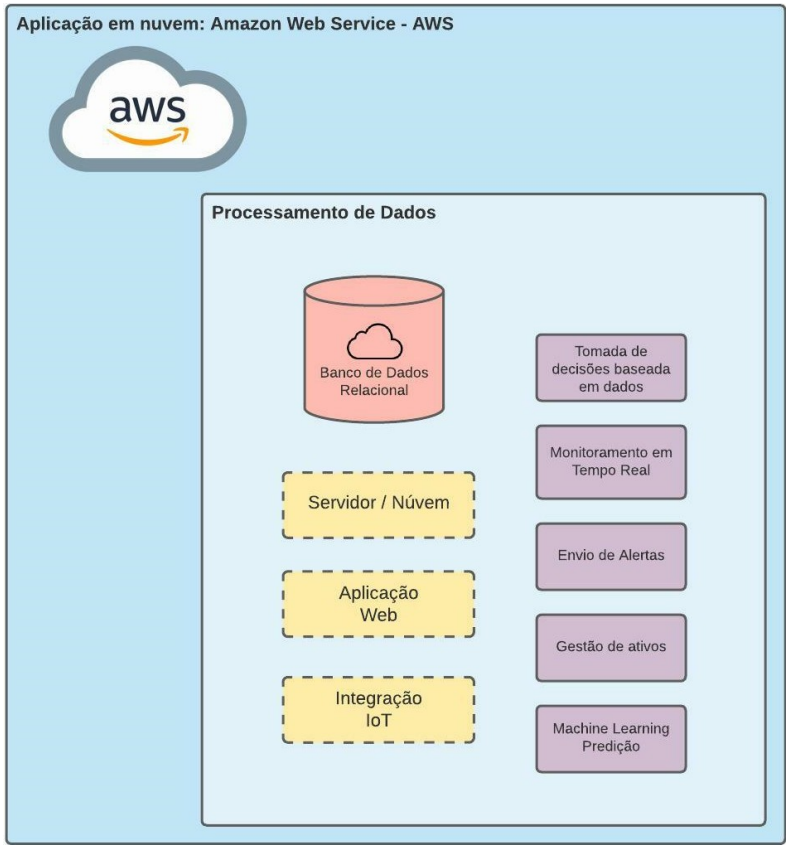
Contribuições

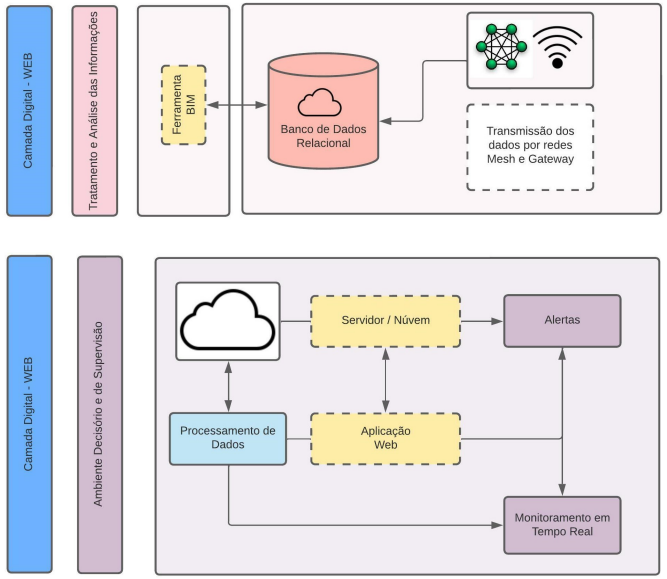
Referências

Experimentos e Resultados

Resultados

Camada Digital – Análise e Tratamento dos Dados e Ambiente Supervisório





Introdução

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Setup Experimental

Ambiente Físico
Ambiente Digital
Microcontrolador
Sensor de Temperatura
Sensor de Aceleração
Sensor de Corrente Elétrica
Experimentos Realizados
Experimento 1
Experimento 2
Experimento 3
Desen. Plataforma

Resultados

Modelo BIM-IoT
Camada Física
Camada Digital

Conclusões

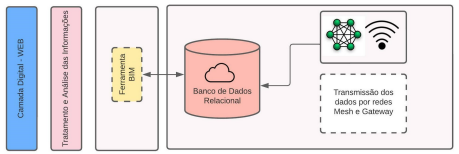
Contribuições

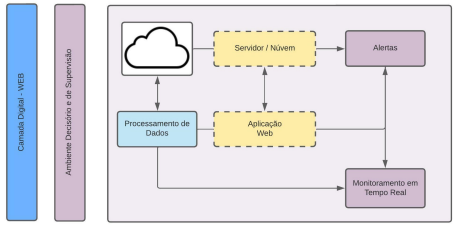
Referências

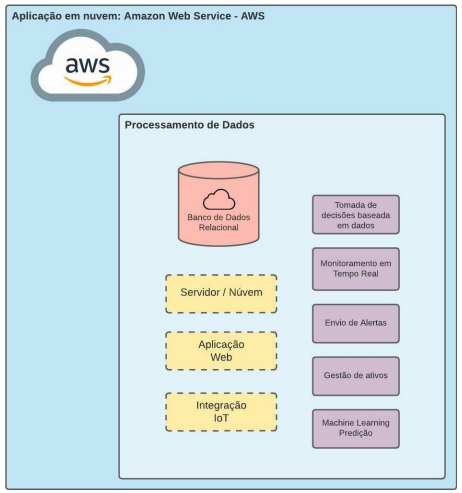
Camada Digital – Análise e Tratamento dos Dados e Ambiente Supervisório

Consiste em:

- Recebimento dos dados via *web*;
- Configuração da conexão com os sensores;
- Alocação dos dados;
- Configuração de parâmetros e séries históricas;
- Configuração de canal de comunicação com outras plataformas (API).







Introdução

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Setup Experimental

Ambiente Físico
Ambiente Digital
Microcontrolador
Sensor de Temperatura
Sensor de Aceleração
Sensor de Corrente Elétrica
Experimentos Realizados
Experimento 1
Experimento 2
Experimento 3
Desen. Plataforma

Resultados

Modelo BIM-IoT
Camada Física
Camada Digital

Conclusões

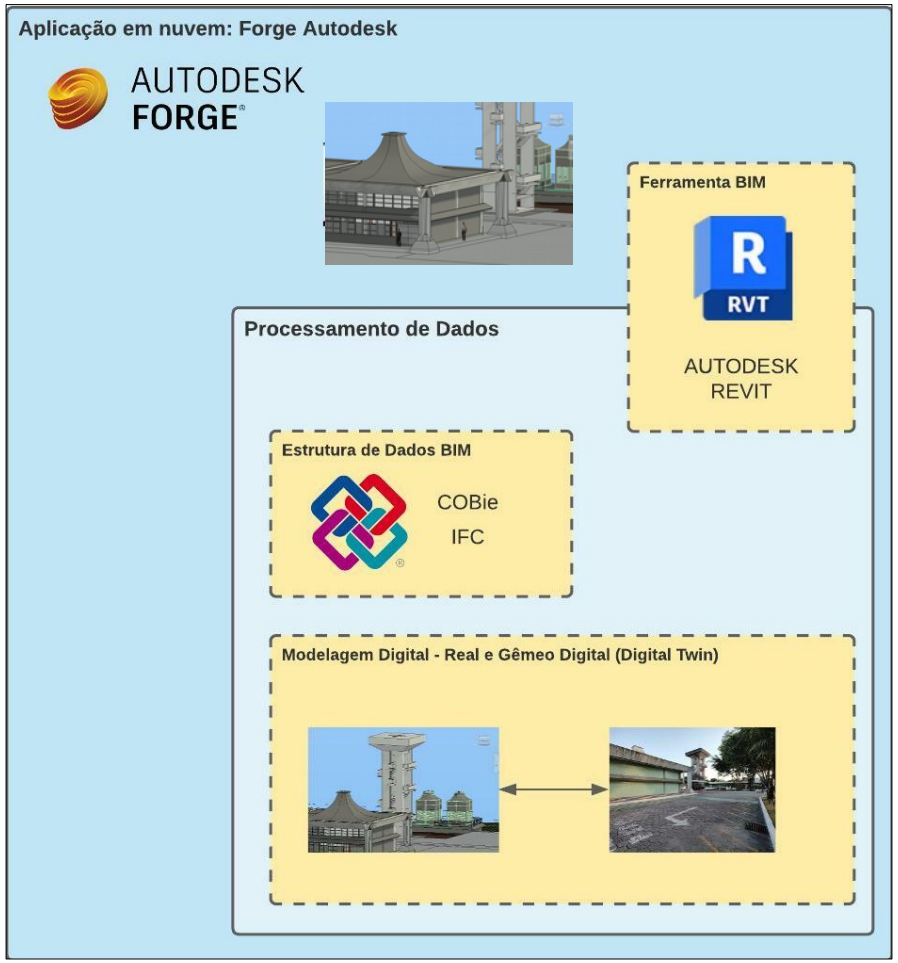
Contribuições

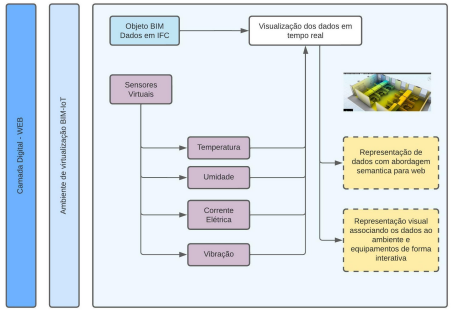
Referências

Experimentos e Resultados

Resultados

Camada Digital – Visualização dos Dados





Introdução

Revisão Bibliográfica

Metodologia

Experimentos e Resultados

Setup Experimental

Ambiente Físico
Ambiente Digital
Microcontrolador
Sensor de Temperatura
Sensor de Aceleração
Sensor de Corrente Elétrica
Experimentos Realizados
Experimento 1
Experimento 2
Experimento 3
Desen. Plataforma

Resultados

Modelo BIM-IoT
Camada Física
Camada Digital

Conclusões

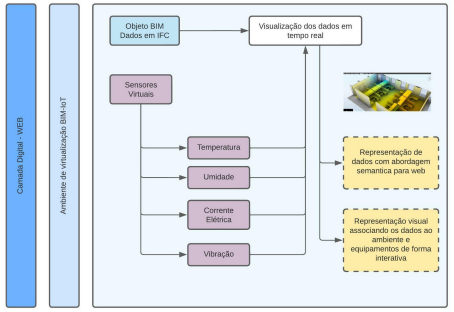
Contribuições

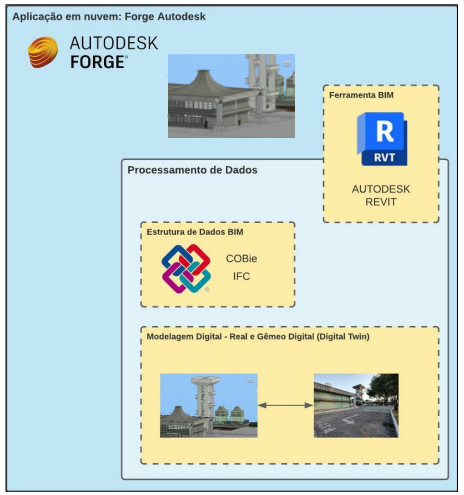
Referências

Camada Digital – Visualização dos Dados

Consiste em:

- Virtualização da edificação (BIM);
- Importação de arquivo *Revit* para o *Forge*;
  - *Revit* – Plataforma Desktop;
  - *Forge* – Plataforma Web.
- Exibição das informações;
- Exibição de informações e alertas
- Configuração de canal de comunicação com outras plataformas (API).





Conclusões

Como manter e controlar o patrimônio edificado com base na coleta de dados, facilitando a tomada de decisão para a manutenção das edificações?

- BIM
  - Modelo que acompanha o ciclo de vida (*life cycle*) de uma construção/edificação
    - Projeto / Construção / Operação / Demolição
    - Fidelidade de detalhes e atributos (COBIe, IFC ou nativo)
    - Atualização de metadados aos atributos locados no ambiente de forma individualizada
    - Continuidade do fluxo de dados e informações ao longo das fases

- Gestão da Manutenção
  - Mais Dados
  - Menos Documentos
  - Estruturas orientadas aos dados

Conclusões

Como manter e controlar o patrimônio edificado com base na coleta de dados, facilitando a tomada de decisão para a manutenção das edificações?

- Captura de dados para construção e transformação de um modelo
  - Criação de visualização de dados em tempo real
  - Maior demonstração do que está acontecendo em campo
  - Sensores e instalação mais simples e escalável
- A operação da manutenção e gestão opera e decide a partir de dados
  - Ambiente facilitado para observação
  - Processo decisórios baseados em dados e informações *(data-driven)*
  - Gêmeos digitais
- Oportunidade para proprietários, engenheiros e terceirizados.

Introdução

Enquadramento Teórico

Metodologia

Experimentos e Resultados

Conclusões

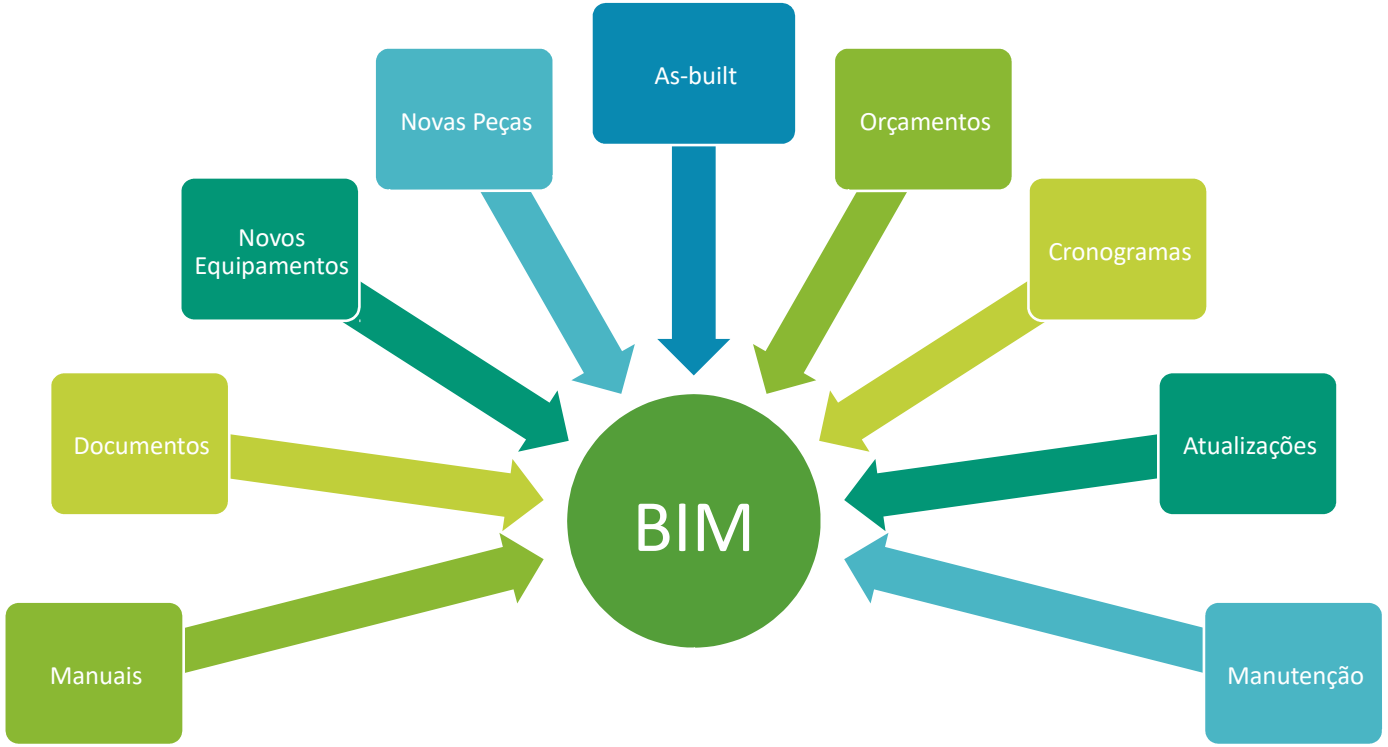
Desenvolvimento do Modelo
Conectividade Física e Digital
Estrutura BIM e IoT
Desafios e Oportunidades

Contribuições

Referências

Conclusões

Como manter e controlar o patrimônio edificado com base na coleta de dados, facilitando a tomada de decisão para a manutenção das edificações?



Introdução

Enquadramento Teórico

Metodologia

Experimentos e Resultados

Conclusões

Desenvolvimento do Modelo
Conectividade Física e Digital
Estrutura BIM e IoT
Desafios e Oportunidades

Contribuições

Referências

Conclusões

Como manter e controlar o patrimônio edificado com base na coleta de dados, facilitando a tomada de decisão para a manutenção das edificações?

- Como estabelecer o que está acontecendo ?
  - Sensores
  - Atuadores
  - Sistemas (Acordo de nível de serviço)
- Como coletar os dados e transmiti-los?
  - Microcontroladores
  - Redes de compartilhamento de dados resilientes (Wi-Fi, LoRaWan, Topologias)
- Como gerar informações a partir de dados
  - Plataformas de SaaS e *Serverless*
  - Gêmeos digitais
- Otimização dos Serviços de Manutenção

Introdução

Enquadramento Teórico

Metodologia

Experimentos e Resultados

Conclusões

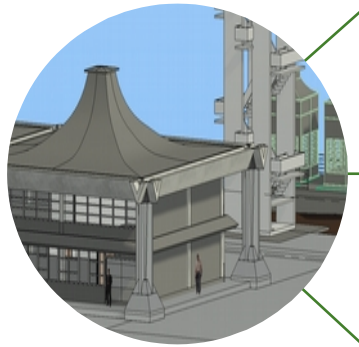
Desenvolvimento do Modelo
Conectividade Física e Digital
Estrutura BIM e IoT
Desafios e Oportunidades

Contribuições

Referências

Conclusões

Como manter e controlar o patrimônio edificado com base na coleta de dados, facilitando a tomada de decisão para a manutenção das edificações?



1. Sensores
- Monitoramento
- Conectividade
- Escalabilidade
- Resiliência

2. Dados
- Armazenamento
- Validação
- Verificação
- Rastreabilidade

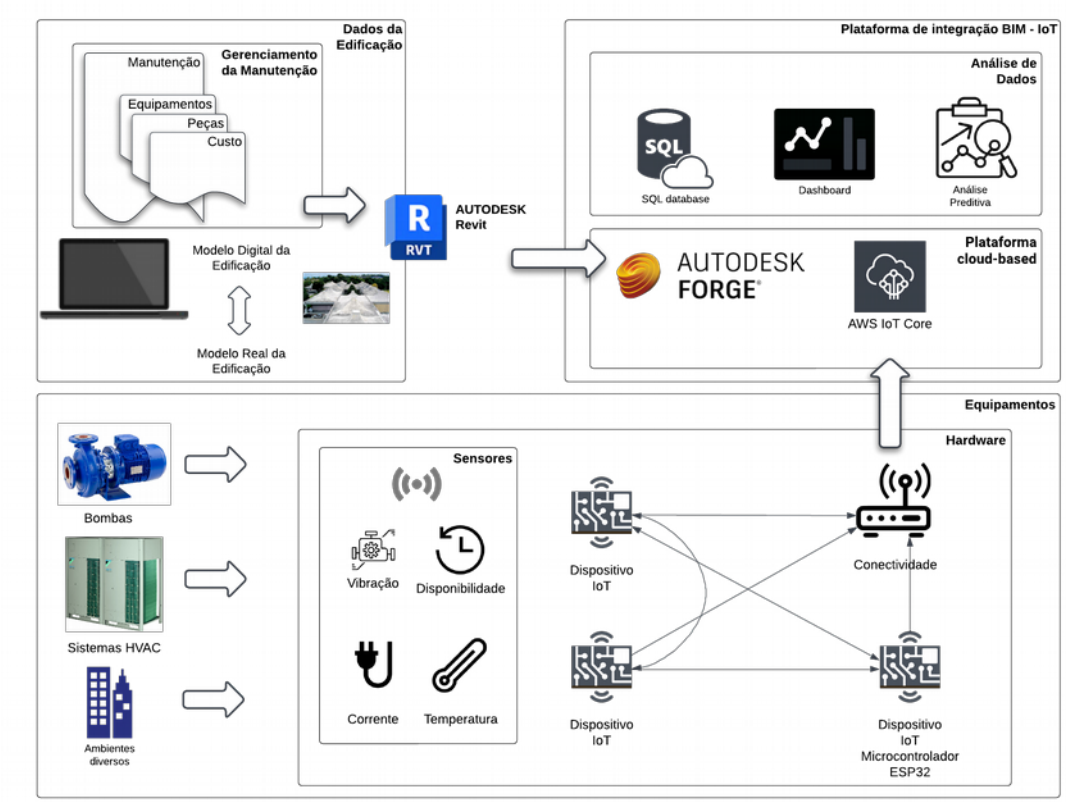
3.Plataformas SAAS
- Interoperabilidade
- BIM - IoT
- Informação
- Tomada de decisões

Conclusão

Conectividade Física e Digital

Como manter e controlar o patrimônio edificado com base na coleta de dados, facilitando a tomada de decisão para a manutenção das edificações?

Figura 30 – Estrutura simplificada de funcionamento da aplicação.



Fonte: Autoria Própria.

Introdução

Enquadramento Teórico

Metodologia

Experimentos e Resultados

Conclusões

Desenvolvimento do Modelo
Conectividade Física e Digital
Estrutura BIM e IoT
Desafios e Oportunidades

Contribuições

Referências

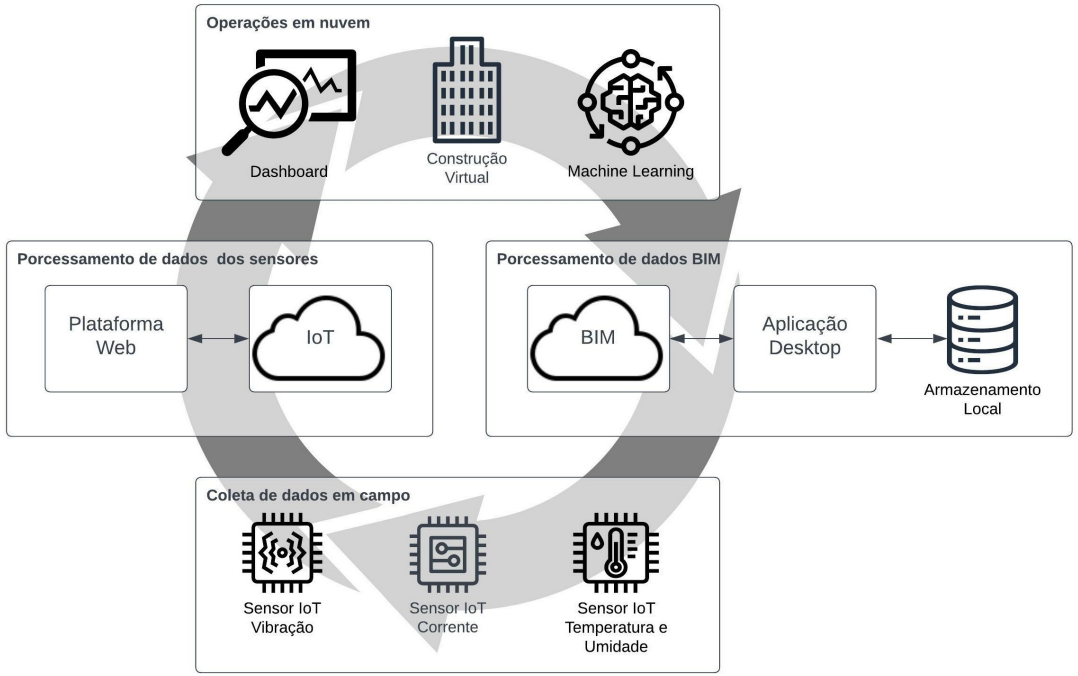
Conclusão

Estrutura BIM e IoT

Estrutura cíclica BIM-IoT

- Integração entre várias plataformas
- Associação de informações
- Representação fidedigna
- Colaboração
- Reduzida infraestrutura computacional
- Dados e informações em tempo real

Figura 31 – Estrutura relacional BIM e IoT.



Fonte: Autoria Própria.

Introdução

Enquadramento Teórico

Metodologia

Experimentos e Resultados

Conclusões

Desenvolvimento do Modelo
Desenvolvimento do Modelo
Conectividade Física e Digital
Estrutura BIM e IoT
Desafios e Oportunidades

Contribuições

Referências

Conclusão

Desafios e Oportunidades

- **Baixo nível de maturidade BIM:**
  - Evolução do nível de maturidade BIM;
  - Treinamento do pessoal técnico e a aquisição de suporte adequado.
- **Ausência de séries históricas ou históricos de manutenção:**
  - Desenvolvimento da cultura de dados, associados à manutenção e aos processos;
  - Desenvolvimento de processos automáticos para geração de dados.
- **Necessidade de qualificação quanto ao uso e operação de SaaS e *Serverless:***
  - Integração de outros profissionais - TIC - ao processo da manutenção;
  - Desenvolvimento de ferramentas e plataformas com interface de usuário.

Introdução

Enquadramento Teórico

Metodologia

Experimentos e Resultados

Conclusões

Desenvolvimento do Modelo
Desenvolvimento do Modelo
Conectividade Física e Digital
Estrutura BIM e IoT
Desafios e Oportunidades

Contribuições

Referências

Conclusão

Desafios e Oportunidades

Potencial para trabalhos futuros

- Escalabilidade do modelo e outras modalidades de monitoramento;
- Desenvolvimento de outros tipos de sensores e medições indiretas;
- Desenvolvimento de soluções para controle de pessoal;
- Aplicação de ML para Manutenção Preditiva baseada em dados;
- Outras formas de conectividade e protocolos (LoRaWAN, ZigBee e BLE).

Contribuições

- Modelagem representativa de parte da edificação da SUFRAMA em BIM;
- Desenvolvimento de cenários de monitoramento dos equipamentos:
  - Verificar o funcionamento e analisar falhas;
  - Construção de série histórica;
  - Mapear as variáveis de funcionamento.
- Desenvolvimento de dispositivos e de sensores para o monitoramento de equipamentos e ambientes;
- Desenvolvimento de modelagem para o fluxo de informações de serviços SaaS e BIM;
- Mapear o processo e modelar uma solução BIM-IoT na SUFRAMA.

Introdução
- Contextualização
- Formulação do Problema
- Objetivos
- Justificativa
- Estrutura Geral

Enquadramento Teórico
- Sensores
- Medição e monitoramento
- Microcontroladores
- Interoperabilidade BIM x IoT
- Utilização do BIM em obras públicas

Metodologia
- Classificação da Pesquisa
- Dispositivos
- Desenvolvimento do módulo de monitoramento
- Estrutura
- Procedimento de coleta de dados
- Procedimento de análise dos dados
- Etapas da pesquisa

Experimentos e Resultados
- Análise
- Identificação
- Proposta
- Validação
- Avaliação do Framework

Conclusões

Contribuições
- Acadêmicas
- Econômicas
- Sociais

Referências

Referências Bibliográficas

Parte 1

ALTOHAMI, A. B. A. et al. **Investigating Approaches of Integrating BIM, IoT, and Facility Management for Renovating Existing Buildings: A Review**. Sustainability, v. 13, n. 7, p. 3930, apr 2021. ISSN 2071-1050. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/7/3930>.

AUTODESK**.** **Autodesk BIM Interoperability Tools.** London – UK, 2022. Disponível em: <https://interoperability.autodesk.com - /cobieextensionrevit.php>. Acesso em 20 de junho de 2022. Acesso em 18 de julho de 2022.

BIM Community. **IFC: Why now? Discover how this standard has become mandatory while working with interoperability and BIM projects.** Disponível em: <https://www.bimcommunity.com/news/load/910/ifc-why-now>. Acesso em 18 de julho de 2022.

CHANG, K. M.; DZENG, R. J.; WU, Y. J. **An automated IoT visualization BIM platform for decision support in facilities management.** Applied Sciences (Switzerland), v. 8, n. 7, 2018. ISSN 20763417.

CHEN, W. et al. **BIM-based framework for automatic scheduling of facility maintenance work orders.** Automation in Construction, Elsevier, v. 91, n. August 2017, p. 15–30, 2018. ISSN 09265805. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.03.007>.

Introdução
- Contextualização
- Formulação do Problema
- Objetivos
- Justificativa
- Estrutura Geral

Enquadramento Teórico
- Sensores
- Medição e monitoramento
- Microcontroladores
- Interoperabilidade BIM x IoT
- Utilização do BIM em obras públicas

Metodologia
- Classificação da Pesquisa
- Dispositivos
- Desenvolvimento do módulo de monitoramento
- Estrutura
- Procedimento de coleta de dados
- Procedimento de análise dos dados
- Etapas da pesquisa

Experimentos e Resultados
- Análise
- Identificação
- Proposta
- Validação
- Avaliação do Framework

Conclusões

Contribuições
- Acadêmicas
- Econômicas
- Sociais

Referências

Referências Bibliográficas

Parte 2

DESOGUS, G. et al. **BIM and IoT Sensors Integration: A Framework for Consumption and Indoor Conditions Data Monitoring of Existing Buildings.** Sustainability, v. 13, n. 8, p. 4496, apr 2021. ISSN 2071-1050. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/8/4496>.

DIBLEY, M. et al. **An ontology framework for intelligent sensor-based building monitoring.** Automation in Construction, Elsevier B.V., v. 28, p. 1–14, 2012. ISSN 09265805. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.05.018>.

ESPRESSIF. 2022. **ESP-WIFI-MESH Programming Guide.** Disponível em: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/v4.4.3/esp32/api-guides/esp-wifi-mesh.html>

HAUGHIAN, B. **Design, Launch, and Scale IoT Services A Practical Business Approach.** [S.l.: s.n.], 2018. ISBN 1-4842-3712-9.

ISO, 10816-3:2009. **Mechanical vibration -- Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts-- Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15 000 r/min when measured in situ.** 2ed. Berlin, 2009.

MENG, Q. et al. **A review of integrated applications of BIM and related technologies in whole building life cycle.** Engineering, Construction and Architectural Management, v. 27, n. 8, p. 1647–1677, 2020. ISSN 09699988.

Introdução
- Contextualização
- Formulação do Problema
- Objetivos
- Justificativa
- Estrutura Geral

Enquadramento Teórico
- Sensores
- Medição e monitoramento
- Microcontroladores
- Interoperabilidade BIM x IoT
- Utilização do BIM em obras públicas

Metodologia
- Classificação da Pesquisa
- Dispositivos
- Desenvolvimento do módulo de monitoramento
- Estrutura
- Procedimento de coleta de dados
- Procedimento de análise dos dados
- Etapas da pesquisa

Experimentos e Resultados
- Análise
- Identificação
- Proposta
- Validação
- Avaliação do Framework

Conclusões

Contribuições
- Acadêmicas
- Econômicas
- Sociais

Referências

Referências Bibliográficas

Parte 3

MORETTI, N. et al. **An openBIM Approach to IoT Integration with Incomplete As-Built Data.** p. 1–17, 2020.

NGUYEN, H. T. **Integration of BIM and IoT to improve the building performance for occupants' perspective.** n. June, p. 84, 2016. ISSN 2222-6990. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/310481201>.

NOOR, A. K. **The Connected Life.** Mechanical Engineering, v. 137, n. 09, p. 36–41, sep 2015. ISSN 0025-6501. Disponível em: <https://doi.org/10.1115/1.2015-Sep-2>.

TANG, S. et al. **A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends.** Automation in Construction, Elsevier, v. 101, n. June 2018, p. 127–139, 2019. ISSN 09265805. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.020>.

WONG, J. K. W.; GE, J.; HE, S. X. **Digitisation in facilities management: A literature review and future research directions.** Automation in Construction, Elsevier, v. 92, n. March, p. 312–326, 2018. ISSN 09265805. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.04.006>.

ZHANG, S. et al. **Wireless Monitoring–Based Real-Time Analysis and Early-Warning Safety System for Deep and Large Underground Caverns.** Journal of Performance of Constructed Facilities, American Society of Civil Engineers, v. 35, n. 2, p. 04020147, apr 2021. ISSN 0887-3828. Disponível em: <https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001534>.

Agradecimentos e Apoio:

UFAM

Fundação Universidade do Amazonas
Universidade Federal do Amazonas
Faculdade de Tecnologia

PPGEP
Programa de Pós-graduação em Engenharia de produção

Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Produção

SUFRAMA
SUPERINTENDÊNCIA DA ZONA FRANCA DE MANAUS

Obrigado a todos!