



SISTEMA DE MONITORAMENTO E SIMULAÇÃO DE CONSUMO ENERGÉTICO COM POWER BI APLICADO A PROCESSOS INDUSTRIAIS

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica: Camila Eduarda Prudencio Silva
Docente Orientador do Curso de Engenharia Elétrica: Marcelo Lucas

Universidade de Uberaba – Uniube, Uberaba – MG, Brasil
E-mail do autor correspondente: camilaedprudencioo@gmail.com

RESUMO

Este trabalho desenvolveu um sistema para monitorar e simular o consumo de água, energia e lenha usando Power BI como plataforma principal. Os dados, inicialmente organizados em planilhas do SharePoint, foram tratados no Power Query e estruturados em um modelo dimensional que permitiu calcular índices de consumo específico e acompanhar o desempenho energético ao longo do tempo. Durante a prototipação ficou evidente que pequenas mudanças no processo produtivo alteram significativamente o consumo total, o que reforça a necessidade de acompanhamento frequente. Os dashboards criados facilitaram a visualização desses comportamentos e ajudaram a destacar pontos de atenção e possíveis melhorias. Apesar disso, o modelo ainda depende de dados inseridos manualmente e não considera diversas variáveis operacionais que influenciam o consumo, o que limita sua precisão. Para evoluir o projeto, será necessário automatizar a coleta de informações, integrar sensores ou APIs externas e aplicar mecanismos de segurança como *Row-Level Security* (RLS). A migração para o Power BI Service também é um passo importante para transformar o protótipo em uma solução aplicável ao ambiente industrial.

Palavras-chave: monitoramento energético; Power BI; indicadores de consumo; *Business Intelligence*.

ABSTRACT

This work developed a system to monitor and simulate the consumption of water, energy, and firewood using Power BI as the main platform. The data, initially organized in SharePoint spreadsheets, were processed in Power Query and arranged in a dimensional model that enabled the calculation of specific consumption indicators and the tracking of energy performance over time. During prototyping, it became clear that small changes in the production process can considerably affect total consumption, reinforcing the need for continuous monitoring. The dashboards designed for the project made these variations easier to visualize and helped highlight points that require attention or improvement. Even so, the model still relies on manually entered data and does not include several operational variables that influence consumption, which limits its accuracy. Moving forward, the project will need automated data collection, the



integration of sensors or external APIs, and security mechanisms such as Row-Level Security (RLS). Migrating the solution to Power BI Service is also an important step toward adapting the prototype for use in an actual industrial environment.

Keywords: energy monitoring; Power BI; consumption indicators; Business Intelligence.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do problema

A busca por eficiência energética tem se tornado uma prioridade nas indústrias modernas. A crescente automação dos processos produtivos tem gerado grandes volumes de dados, cuja análise e interpretação são essenciais para a otimização operacional e a sustentabilidade. O desenvolvimento tecnológico tem impulsionado o uso de ferramentas digitais voltadas à gestão e análise de dados, tornando possível transformar grandes volumes de informações em conhecimento útil. O monitoramento do consumo recursos energéticos é essencial para a otimização dos processos e a redução dos custos produtivos, visto que o controle dos indicadores de consumo e a adoção de políticas de eficiência energética estão associados a melhor desempenho e menor desperdício operacional (EPE, 2024).

O avanço das tecnologias de *Business Intelligence* (BI) tem possibilitado transformar dados em conhecimento estratégico. Segundo Davenport (2018), o uso de BI permite transformar grandes volumes de dados em informações estratégicas para a tomada de decisão. Entre essas ferramentas, o Microsoft Power BI se destaca por integrar dados em tempo real e gerar relatórios visuais dinâmicos que apoiam a gestão industrial. Nesse contexto, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de monitoramento e simulação de consumo energético com Power BI aplicado a processos industriais.

O setor industrial, junto com o transporte, representou 64,8% do consumo total de energia no Brasil em 2023 (MME), evidenciando a importância de ações voltadas à eficiência energética. Além disso, programas regulatórios, como o Programa de Eficiência Energética da ANEEL, incentivam a redução do consumo em setores industriais, reforçando a relevância prática deste estudo.

O uso de ferramentas de BI associadas a dados de consumo energético representa um avanço na integração entre tecnologia e engenharia. Além disso, o interesse em aprofundar conhecimentos sobre análise de dados e indicadores de performance dentro do ambiente industrial contribuiu para a escolha do tema.

Diante desse contexto, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento e simulação de consumo energético utilizando Power BI, com o objetivo de aprimorar a eficiência produtiva e apoiar decisões estratégicas na indústria alimentícia.

1.2 Justificativa

Muitas organizações ainda enfrentam dificuldades em controlar de forma eficiente e assertiva o consumo de recursos naturais. Em um cenário de crescente preocupação ambiental, a busca pela eficiência energética torna-se cada vez mais relevante, especialmente nas indústrias alimentícias, onde o consumo de recursos ocorre em grande escala. Além da dimensão sustentável, há também o aspecto econômico, pois o consumo ineficiente impacta diretamente os custos operacionais e a rentabilidade das empresas (SEBRAE, 2022).

A aplicação de tecnologias de *Business Intelligence* permite integrar gestão e engenharia, otimizando análises estratégicas e possibilitando que avaliações e tomadas de decisão sejam realizadas de forma periódica e embasada em dados. Dessa forma, ações corretivas podem ser implementadas sempre que necessário.

Com o relatório proposto, será possível monitorar esses índices diariamente, permitindo ajustes ao longo do mês e evitando impactos negativos nos indicadores produtivos e orçamentários. Além disso, o projeto contribui com os ODS 9 e 12 ao promover inovação tecnológica na gestão de recursos e incentivar práticas de produção sustentável.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver um sistema de monitoramento e simulação de consumo energético utilizando o Microsoft Power BI, capaz de consolidar dados de consumo de água, energia e lenha em painéis interativos para análise de eficiência produtiva e sustentabilidade.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho consistem em coletar e organizar os dados de consumo energético (água, energia e lenha) em planilha armazenada no SharePoint do projeto; conectar as fontes de dados ao Power BI utilizando o Power Query, com padronização e tratamento de inconsistências; criar os layouts visuais do projeto no PowerPoint, garantindo a padronização dos dashboards; desenvolver gráficos, filtros e simulações que permitam visualizar tendências e desvios de consumo; e realizar simulações de cenários de consumo e produtividade para apoiar a tomada de decisão.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Eficiência energética na indústria

A eficiência energética é um dos pilares da sustentabilidade e da competitividade na indústria. Com o controle e o monitoramento, as empresas conseguem aumentar a eficiência dos processos e, ao mesmo tempo, reduzir desperdícios e impactos ambientais. No Brasil, o setor industrial é responsável por uma parcela significativa do consumo de energia, tornando indispensáveis as práticas sustentáveis e o uso consciente desses recursos (BRASIL, 2024).

Além das motivações ambientais e econômicas, essa busca pelo uso consciente também está relacionada às exigências de órgãos públicos e normas regulamentadoras de certificação ambiental e de qualidade, como, por exemplo, a norma ISO 14001 (Gestão Ambiental). Essas normas exigem que as indústrias demonstrem quais práticas e trabalhos vêm sendo executados para garantir a eficiência energética, tanto ações de redução quanto iniciativas de monitoramento.

Neste contexto, o monitoramento contínuo, de fácil acesso e navegação, torna-se cada vez mais essencial. A implantação de sistemas capazes de tratar e analisar dados, de forma a permitir um acompanhamento mais prático e eficiente, tem papel crucial dentro das empresas.

Assim, é possível compreender que a eficiência energética requer não apenas a efetividade de práticas sustentáveis, mas também o seu monitoramento constante, apoiando a gestão e contribuindo para decisões estratégicas mais assertivas.

2.2 Indicadores de consumo

No contexto industrial, o uso de indicadores de consumo é essencial para mensurar a eficiência na utilização de recursos naturais, permitindo comparar o desempenho entre períodos, processos e unidades produtivas. Segundo Francischini e Francischini (2017, p. 6), “indicadores são medidas, qualitativas ou quantitativas, que mostram o estado de uma operação, processo ou sistema”. Dessa forma, tais instrumentos possibilitam avaliar o consumo de água, energia e lenha, identificando padrões, desvios e oportunidades de melhoria.

A mensuração desses indicadores pode ser realizada por meio das razões de consumo específico, que expressam a relação entre o consumo absoluto de determinado recurso e a quantidade produzida em toneladas de produto. Assim, índices como m³ de água por tonelada de produto ou kWh por tonelada produzida permitem comparar a eficiência entre diferentes períodos e detectar variações significativas.

Quando integradas a plataformas de *Business Intelligence*, como o Power BI, essas métricas possibilitam um monitoramento ágil do desempenho energético, ampliando a capacidade analítica e proporcionando maior agilidade na tomada de decisão. No entanto, como destacam Francischini e Francischini (2017), “indicadores apontam, mas não resolvem problemas”, reforçando que sua utilidade reside em auxiliar a análise crítica e orientar ações corretivas.

Em conformidade com o item 9.1 da ABNT NBR ISO 50001:2018, as organizações devem monitorar e medir periodicamente seu desempenho energético, assegurando a confiabilidade dos dados e comparando os resultados com as linhas de base estabelecidas. Essa prática sustenta decisões voltadas à melhoria contínua do sistema de gestão de energia (ABNT, 2018), reforçando o papel dos indicadores como instrumentos estratégicos para a eficiência e sustentabilidade.

2.3 Sistemas de monitoramento e Business Intelligence

Em ambientes industriais, os sistemas de monitoramento têm a função de coletar, consolidar e disponibilizar dados operacionais com o nível de detalhe e a periodicidade necessários para a análise de desempenho. No caso do consumo de recursos como água, energia e lenha, isso normalmente envolve a integração de fontes heterogêneas, como sensores e medidores automatizados. Contudo, no escopo deste projeto, os dados serão inseridos manualmente pelo operador em uma planilha do Microsoft Excel armazenada no SharePoint, que servirá como fonte de dados principal para o Power BI. Embora a inserção manual atenda aos objetivos desta etapa de prototipação, esse método apresenta limitações quanto à confiabilidade e à frequência de atualização dos dados, podendo introduzir erros humanos e atrasos no monitoramento. Assim, a futura automação por meio de sensores ou APIs representa uma evolução necessária para a escalabilidade do sistema.

Para permitir análises consistentes, os dados devem percorrer um fluxo de tratamento que inclui: ingestão e validação, armazenamento, modelagem e visualização. Nesse processo, o Power Query (ferramenta de ETL – *Extract, Transform, Load*) será utilizado para o tratamento e a padronização dos dados. Em seguida, a modelagem será estruturada em tabelas fato, que concentram os valores numéricos e as chaves de relacionamento, e tabelas dimensão, que armazenam informações de referência, como cadastros de recursos, setores e calendários. Essa estrutura de modelo dimensional facilita o cálculo de indicadores, como kWh por tonelada ou m³ por tonelada produzida.

O Power BI foi escolhido como ferramenta principal por permitir integrar dados de diferentes fontes e construir análises de forma rápida. Toda a prototipação foi feita no Power BI Desktop, que já oferece os recursos necessários para montar o modelo, testar as medidas e validar a lógica do sistema. Nesta etapa, o foco foi apenas demonstrar o funcionamento da solução, por isso a publicação no Power BI Service não foi utilizada. Esse passo pode ser incluído futuramente, caso o sistema seja levado para o ambiente industrial e exista infraestrutura e licenças adequadas.

A conexão usada no protótipo é baseada no modo *Import*, trazendo diretamente a planilha do SharePoint para dentro do modelo. Como os dados são inseridos manualmente, é essencial revisar as informações antes do carregamento para evitar erros nas análises.

A Figura 1 apresenta o fluxo geral do processo no Power BI, mostrando como os dados passam pelas etapas de coleta, tratamento, modelagem e visualização dentro do sistema.

Figura 1 - Fluxo de tratamento e modelagem de dados



Fonte: Autor (2025).

Dessa forma, o uso do Power BI neste trabalho vai além da simples criação de gráficos, a ferramenta foi usada para organizar o fluxo dos dados, tratar as informações e montar os cálculos necessários, o que permitiu transformar os registros de consumo em indicadores úteis para a gestão energética.

3. METODOLOGIA

3.1 Tipo de Pesquisa

O estudo apresentado tem caráter exploratório e descritivo, pois visa investigar o tema do monitoramento e análise de indicadores de consumo no contexto industrial, buscando compreender suas aplicações práticas e propor melhorias baseadas em dados. Essa classificação se justifica pelo fato de o trabalho não envolver manipulação de variáveis nem experimentos diretos, mas sim a observação, organização e interpretação de informações previamente existentes.

A abordagem utilizada é predominantemente quantitativa, uma vez que o estudo se baseia em dados numéricos de consumo de recursos naturais que são coletados, tratados e analisados por meio de ferramentas de *Business Intelligence*, especialmente o Power BI.

3.2 Ambiente e dados

Os dados utilizados neste estudo não correspondem a informações reais da empresa; foram simulados a partir de faixas de consumo obtidas de uma indústria alimentícia utilizada como referência (*benchmarking*). Essa abordagem garante a confidencialidade das informações corporativas, mantendo valores coerentes e representativos para a análise e o desenvolvimento do dashboard.

Os valores de consumo foram gerados de forma aleatória dentro das faixas definidas a partir dessa referência, utilizando funções do Microsoft Excel

para controlar a simulação. Esse procedimento assegura variação adequada dos dados e permite representar oscilações semelhantes às observadas em ambientes industriais.

As informações de consumo de água, energia e lenha foram organizadas em planilhas operacionais, contendo registros referentes ao período de janeiro a junho de 2025. Os dados foram coletados manualmente pelos operadores de cada setor, de acordo com as rotinas internas de medição, e posteriormente consolidados para utilização neste estudo.

3.3 Arquitetura Proposta

A arquitetura proposta tem como objetivo integrar e organizar o fluxo de dados utilizado na construção do dashboard de monitoramento de consumo de recursos naturais (água, energia e lenha), garantindo consistência, rastreabilidade e facilidade de atualização das informações. Essa estrutura foi pensada para que os colaboradores não encontrem dificuldades no processo de atualização dos dados, considerando que o público operacional ainda não está totalmente habituado ao uso de computadores e realiza normalmente os registros em formulários físicos.

O sistema foi estruturado em camadas, abrangendo desde a origem e o armazenamento dos dados até sua transformação e visualização final no Power BI. O fluxo proposto segue as seguintes etapas:

- Coleta de dados: os registros de consumo são inseridos manualmente pelos operadores em planilhas desenvolvidas no Microsoft Excel.
- Armazenamento: os arquivos em Excel são armazenados em um site do Microsoft SharePoint, escolhido por permitir o acesso simultâneo de vários usuários. Dessa forma, uma única base de dados pode ser utilizada por diferentes setores da empresa.
- Integração: o Power BI Desktop é conectado diretamente ao SharePoint, possibilitando a importação automática das planilhas.
- Tratamento e transformação: nesta etapa, os dados passam por processos de padronização de formatos, exclusão de duplicidades, verificação de consistência e aplicação dos cálculos necessários para a composição dos indicadores.
- Visualização e análise: após o tratamento, as informações são apresentadas em dashboards interativos no Power BI, permitindo acompanhar os principais indicadores (KPIs), explorar dados por meio de filtros e realizar simulações de cenários.

De forma geral, a arquitetura do sistema pode ser organizada em quatro camadas principais. A camada de origem é responsável pela coleta manual dos dados e pelo armazenamento das planilhas de consumo no SharePoint. A camada de tratamento realiza a transformação e padronização das informações por meio do Power Query. Na camada analítica, desenvolvida no Power BI Desktop, são aplicados os cálculos em DAX, criados os indicadores e estabelecidos os relacionamentos entre tabelas. Por fim, a camada de

visualização reúne os dashboards interativos, nos quais os resultados são apresentados de forma clara e dinâmica para apoiar a análise de desempenho.

A estrutura adotada assegura a centralização e integridade dos dados, reduzindo retrabalhos e riscos de inconsistência. Além disso, permite futuras expansões, como a integração com sistemas de IoT para captura de dados em tempo real ou a utilização do Power BI Service para a distribuição automática dos relatórios em ambiente corporativo.

3.4 Modelagem de Dados

A modelagem de dados tem como objetivo estruturar as informações de forma organizada, permitindo que o Power BI realize cálculos, cruzamentos e análises de maneira automatizada. Essa etapa foi essencial para garantir a integridade entre as fontes de dados e possibilitar a criação dos indicadores de consumo e desempenho energético utilizados no dashboard.

O modelo foi desenvolvido com base em uma estrutura simplificada, integrando diferentes conjuntos de informações em um único ambiente analítico. As principais tabelas utilizadas foram as de consumo, produção e calendário. A tabela de consumo possui os registros referentes à utilização de água, energia e lenha, organizados por data, a tabela de produção armazena os volumes produzidos em toneladas, servindo como base para o cálculo dos índices. A tabela calendário foi criada para dar suporte a análises temporais, como comparativos mensais.

As relações entre as tabelas foram definidas por meio de chaves lógicas, pelo campo “Data”, o que possibilitou a integração dos dados de forma dinâmica. Essa estrutura permitiu, por exemplo, associar o consumo de um determinado recurso à produção do período, possibilitando a criação de indicadores como consumo por tonelada produzida.

As medidas analíticas, como consumo total, consumo específico e desvio em relação à meta, foram elaboradas por meio da linguagem DAX (*Data Analysis Expressions*), utilizada no Power BI. O uso dessa linguagem possibilitou a construção de cálculos dinâmicos e, sem a necessidade de armazenar esses valores diretamente nas tabelas, o que contribui para a eficiência do modelo.

Essa estrutura foi projetada para permitir a atualização automática dos dados, de modo que o Power BI se conecte diretamente ao ambiente SharePoint. Além disso, o modelo foi desenvolvido de forma que é possível futuras expansões, como a inclusão de novos recursos de consumo.

3.5 Cálculos de KPIs e fórmulas

Nesta etapa, os cálculos dos KPIs de consumo energético foram implementados no Power BI com o uso da linguagem DAX. Foram utilizadas fórmulas simples, seguindo as orientações apresentadas na documentação da Microsoft (MICROSOFT, 2024).

Os principais indicadores desenvolvidos no projeto foram:



a) Índice de consumo por tonelada: representa a relação entre o consumo total de um recurso e a quantidade produzida, permitindo avaliar a eficiência no uso de recursos naturais (FRANCISCHINI; FRANCISCHINI, 2018). A fórmula utilizada é:

$$\text{Índice de consumo por tonelada} = \frac{\text{Consumo total do recurso}}{\text{Produção Total}} \quad (1)$$

b) Desvio em relação ao mês anterior: Representa a divisão entre o realizado do mês atual e o realizado do mês anterior.

$$\text{Desvio} = \frac{\text{Mês atual}}{\text{Mês anterior}} * 100 \quad (2)$$

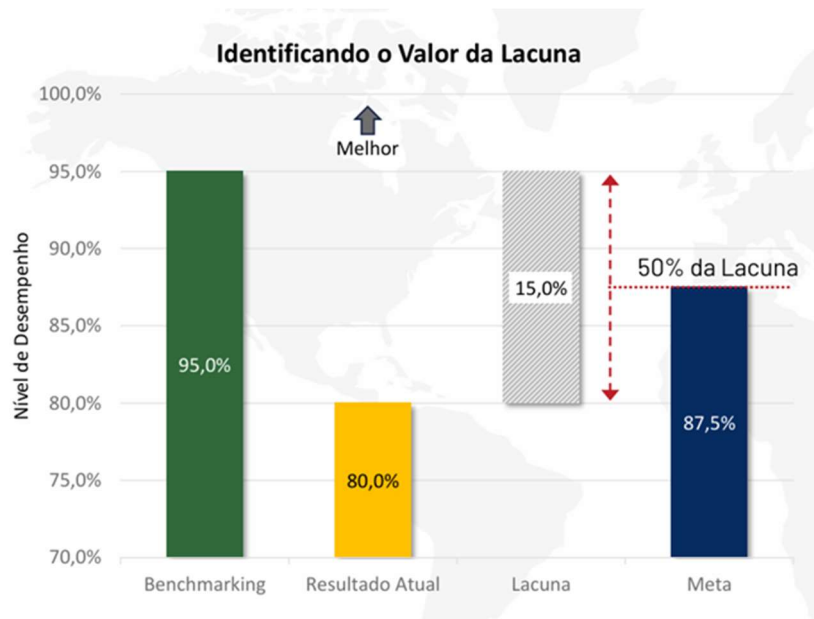
Esses cálculos foram implementados no Power BI por meio de expressões na linguagem DAX, como:

$$\text{CALCULATE} = (\text{SUM} (fUtilidades[\text{Valor}]), \\ fUtilidades[\text{Indicador}] = \text{"Consumo de água"}) \quad (3)$$

Além disso, as metas de consumo utilizadas para comparação foram definidas com base em uma análise de lacuna, método que identifica a diferença entre o desempenho atual e o desempenho desejado. Para cada recurso analisado, foi calculada a lacuna, que representa a diferença entre a performance atual do indicador e o melhor resultado conhecido. Esse “melhor resultado” pode ser histórico, derivado de concorrentes ou obtido por meio de benchmark absoluto.

A Figura 2 ilustra o cálculo foi aplicado neste projeto, evidenciando a diferença entre o desempenho atual e o desempenho de referência (benchmarking), além da definição da meta intermediária correspondente a 50% da lacuna.

Figura 2 - Gráfico de cálculo de lacuna



Fonte: Acervo do autor (2025).

Neste projeto, adotou-se o conceito de lacunas estáticas, utilizando como referência os melhores valores históricos registrados. Essa abordagem também pode incluir benchmarks externos ou comparações relativas com o mercado. O cálculo é definido da seguinte forma:

a) Cálculo de lacuna:

$$Lacuna = Benchmark - Resultado atual \quad (4)$$

b) Cálculo da meta:

$$Meta = Resultado atual - (Lacuna * 50\%) \quad (5)$$

O ponto de partida para a definição das metas foi o percentual de 50% de redução da lacuna, podendo ser ajustado conforme o grau de maturidade do processo, o nível de investimento e os recursos disponíveis para seu alcance.

Essa metodologia garante que as metas estabelecidas sejam coerentes com o histórico de consumo e representem desafios realistas, promovendo a melhoria contínua do desempenho energético. A partir do cálculo da lacuna e da meta ajustada, o indicador de desvio percentual pôde ser aplicado de maneira consistente, facilitando a comparação entre períodos, recursos e setores da indústria.

Por fim, os KPIs calculados são apresentados visualmente no Power BI, permitindo que o usuário acompanhe o desempenho de cada recurso, identifique desvios em relação às metas e realize simulações de cenários alternativos de consumo, tornando a análise mais dinâmica, estratégica e voltada à tomada de decisão.

3.6 Procedimento de validação

O procedimento de validação teve como objetivo assegurar a consistência e a confiabilidade dos resultados apresentados pelo dashboard desenvolvido, além de evitar que o usuário tenha qualquer dúvida durante o uso da ferramenta. Essa etapa buscou confirmar se os indicadores e cálculos implementados no Power BI refletiam o comportamento esperado dos dados de consumo industrial.

Inicialmente, foi realizada a validação estrutural, que consistiu na verificação da integridade do modelo de dados, da correta aplicação das fórmulas DAX e da coerência entre os relacionamentos das tabelas utilizadas. Essa análise garantiu que os cálculos de índices de consumo e desvios percentuais fossem aplicados conforme as definições estabelecidas na etapa de modelagem.

Em seguida, foi realizada a validação comparativa, confrontando os resultados simulados com as faixas de consumo reais obtidas a partir da indústria e validação dos cálculos através do Excel. Essa verificação permitiu confirmar que os valores gerados mantinham proporcionalidade e comportamento compatível com a realidade produtiva.

Também foi conduzida uma validação funcional, destinada a avaliar a usabilidade, a clareza visual e a interatividade dos dashboards. Nessa etapa, foi confirmado o correto funcionamento dos filtros, a atualização dos gráficos e a coerência entre os dados apresentados em diferentes visões.

O modelo foi considerado validado após a confirmação de que os cálculos apresentavam resultados consistentes, que os valores simulados permaneciam dentro das faixas de consumo de referência e que as visualizações garantiam uma leitura clara e precisa dos indicadores. Esse processo assegura que o dashboard possa ser futuramente aplicado em ambiente industrial real, preservando a coerência entre os dados operacionais e as análises gerenciais.

3.7 Construção do ETL em Power Query

A etapa de construção do processo de ETL (*Extract, Transform and Load*) foi realizada utilizando o Power Query, ferramenta nativa do Power BI responsável pela extração, transformação e carregamento dos dados. Essa fase foi essencial para garantir a padronização, limpeza e consistência das informações antes de sua utilização na modelagem e construção dos dashboards.

Inicialmente, ocorreu a extração dos dados diretamente das planilhas de Excel armazenadas no ambiente Microsoft SharePoint. Após a extração, foi realizada a etapa de transformação, na qual os dados passaram por um processo de tratamento com o objetivo de eliminar inconsistências e uniformizar o formato das informações. Foram realizadas ações como exclusão de linhas em branco, classificação de tipos de dados (numéricos e de data), padronização de unidades de medida e de cabeçalhos.

Por fim, na fase de carregamento, os dados tratados foram consolidados e armazenados no modelo de dados do Power BI Desktop. Essa consolidação garantiu que todas as informações fossem carregadas de forma otimizada, permitindo um desempenho adequado na renderização dos dashboards e reduzindo o tempo de atualização.

O processo de ETL desenvolvido, portanto, assegura a integridade e a confiabilidade das informações utilizadas nas análises, eliminando redundâncias e padronizando a base de dados.

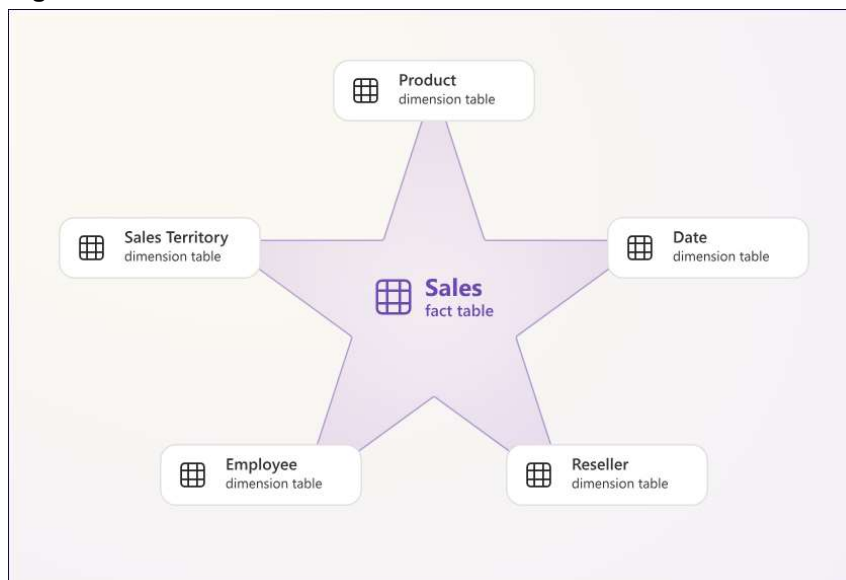
3.8 Modelo em Estrela

O modelo de dados adotado neste projeto segue a estrutura de modelo estrela, amplamente reconhecida como uma das melhores práticas em modelagem analítica no Power BI. Esse modelo é composto por uma tabela fato, que concentra as métricas principais de consumo (como valores de água, energia e lenha), e por tabelas dimensão, que armazenam informações descritivas relacionadas como data.

Essa abordagem favorece o desempenho das consultas, simplifica a criação de medidas DAX e garante maior consistência nas análises (MICROSOFT, 2025).

A Figura 3 apresenta uma representação esquemática do modelo estrela (Star Schema), no qual uma tabela fato central se conecta a diversas tabelas dimensão, formando uma estrutura em formato de estrela. Essa configuração facilita dos relacionamentos entre as tabelas utilizadas em projetos.

Figura 3 - Modelo em Estrela



Fonte: Microsoft (2025).

3.9 Medidas DAX

Para possibilitar a análise dos indicadores de consumo e a construção dos painéis no Power BI, foram desenvolvidas medidas utilizando a linguagem DAX. As medidas desempenham um papel fundamental no modelo analítico, pois permitem realizar cálculos dinâmicos, sensíveis ao contexto de filtros e capazes de relacionar dados de diferentes tabelas fato e dimensão. No escopo deste projeto, as medidas foram elaboradas para atender cinco necessidades principais: cálculo dos índices de consumo específico, cálculo de médias de referência, cálculo de variação mês a mês, cálculo de custo de energia e aplicação de formatação condicional para facilitar a interpretação visual dos indicadores.

Cálculo dos índices de consumo específico:

a) Os índices de consumo específico, como m^3 por tonelada ou kWh por tonelada produzida, foram calculados a partir de medidas DAX que combinam `DIVIDE` e `CALCULATE`. A lógica utilizada garante que o consumo considerado corresponde exatamente ao período de produção, evitando distorções quando há diferenças de datas entre as bases.

b) Cálculo de médias de consumo:

Também foram criadas medidas de média histórica para servir como referência nas análises. Elas utilizam `AVERAGE` em conjunto com `CALCULATE` para aplicar os filtros corretos, permitindo comparar o desempenho atual com o comportamento médio registrado anteriormente.

c) Medidas de variação mês a mês

Para acompanhar a evolução dos indicadores, foram desenvolvidas medidas de variação mensal. Nessas medidas, são usadas variáveis (`VAR`) para organizar os cálculos e `FORMAT` para apresentar o resultado já com símbolos que indicam tendência. Isso facilita perceber rapidamente se houve aumento ou redução no consumo em relação ao mês anterior.

d) Medidas de cálculo de custos de energia

No caso da energia elétrica, foram criadas medidas separadas para o custo do consumo (kWh) e para a demanda contratada (kW), seguindo a estrutura tarifária utilizada no protótipo. Depois, uma medida adicional reúne esses valores para apresentar o custo total.

e) Medidas de formatação condicional

Por fim, foram desenvolvidas medidas simples para controlar cores e sinais visuais nos dashboards, permitindo destacar automaticamente situações acima ou abaixo das metas definidas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Dashboard, layout e navegação

Os dashboards desenvolvidos no Power BI foram estruturados com foco em clareza visual e facilidade de navegação. O layout segue uma identidade visual padronizada, com paleta de cores consistente, organização equilibrada

dos elementos e destaque apenas para indicadores relevantes, garantindo leitura rápida e sem sobrecarga visual. Todos os visuais foram projetados para apoiar decisões rápidas, utilizando gráficos adequados ao tipo de informação, como linhas para metas, símbolos orientativos e variações.

Para ilustrar essa estrutura, a Figura 4 apresenta um exemplo do dashboard desenvolvido, evidenciando a distribuição dos indicadores, o uso de filtros e a abordagem visual adotada no projeto.

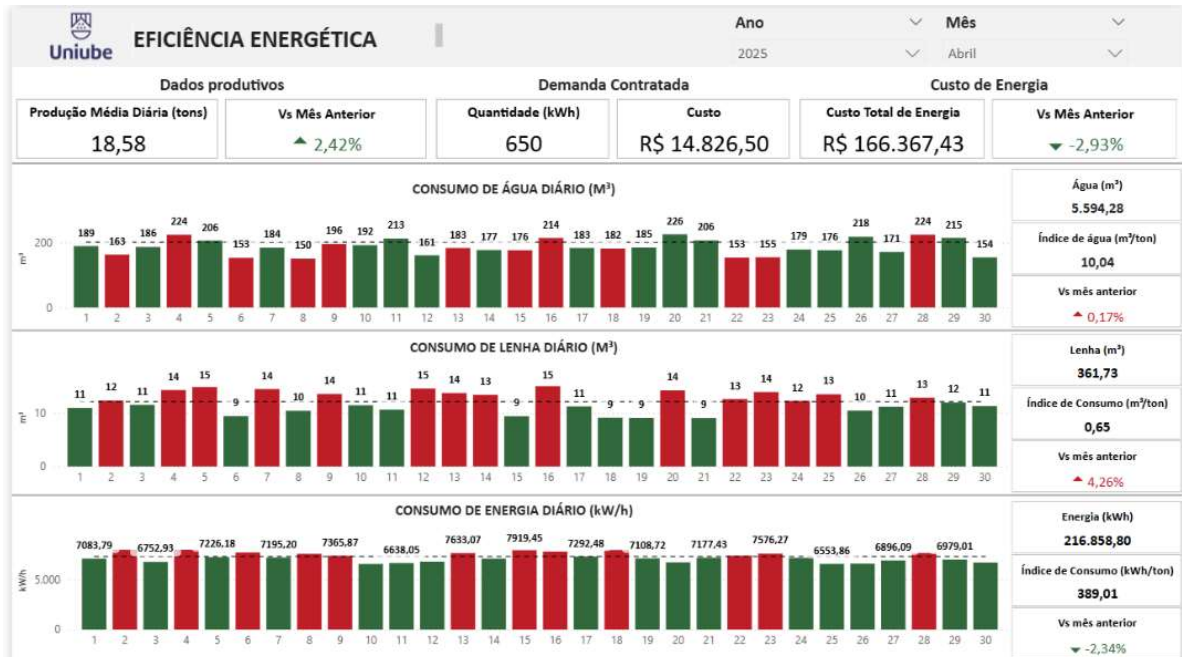
Figura 4 - Dashboard construído sem formatação de meta



Fonte: Acervo do autor (2025).

A Figura 5 apresenta o dashboard desenvolvido, no qual a utilização de formatações em vermelho e verde evidencia o atendimento ou o desvio em relação às metas estabelecidas. Esses destaques visuais são aplicados com base no cálculo da lacuna, conforme descrito anteriormente neste artigo.

Figura 5 - Dashboard construído com formatação de meta



Fonte: Autor (2025).

A criação dos dashboards representou um avanço do ponto de vista metodológico e analítico, ao demonstrar, de forma prática, como dados de consumo podem ser organizados e apresentados de maneira clara e integrada. Embora o sistema não tenha sido aplicado diretamente em uma empresa, o protótipo permitiu visualizar, em um único ambiente, o comportamento do consumo de água, energia e lenha ao longo do tempo, evidenciando variações, tendências e possíveis desvios operacionais.

4.2 Limitação (dados manuais e variação de processos)

Embora o modelo tenha apresentado resultados satisfatórios, algumas limitações impactam sua precisão e aplicabilidade. A mais significativa refere-se à inserção manual dos dados em planilhas no SharePoint, processo sujeito a erros de digitação, atrasos e falta de padronização. Essas falhas interferem diretamente na confiabilidade dos indicadores e podem distorcer análises mensais.

Além disso, o consumo de água, energia e lenha é altamente sensível a variáveis operacionais que não foram totalmente incorporadas ao modelo, como variações entre turnos, ajustes de processo, paradas de máquina, rotinas de limpeza e condições ambientais. Essas flutuações naturais podem gerar oscilações não capturadas pelos dados, reduzindo a capacidade do sistema de representar integralmente o comportamento real do processo.

Assim, o modelo proposto é adequado para análises iniciais e simulações exploratórias, mas depende de futura automação da coleta e da ampliação das variáveis monitoradas para alcançar níveis mais altos de precisão e robustez.

4.3 Síntese das contribuições

O desenvolvimento do sistema de monitoramento e simulação resultou em contribuições significativas para a análise de desempenho energético no contexto industrial. A estruturação de um modelo dimensional, combinada às medidas DAX, permitiu consolidar dados de forma organizada e gerar indicadores de consumo específicos e confiáveis. A criação dos dashboards no Power BI forneceu uma visualização clara e interativa dos indicadores, facilitando a identificação de desvios, tendências e padrões. Além disso, o projeto demonstrou como ferramentas de *Business Intelligence* podem ser integradas ao ambiente industrial, contribuindo para decisões operacionais e estratégicas mais embasadas.

A simulação de cenários mostrou-se especialmente útil ao revelar o impacto de pequenas variações de eficiência no consumo total, reforçando a importância do monitoramento contínuo. Por fim, o projeto estabelece bases sólidas para futuras melhorias, incluindo a automação da coleta de dados e a adoção de práticas avançadas de gestão energética alinhadas a normas como a ISO 50001.

4.4 Atendimento aos objetivos

Os objetivos propostos foram atendidos de maneira satisfatória. O objetivo geral foi alcançado por meio do desenvolvimento de um sistema funcional em Power BI, capaz de consolidar dados de consumo e produção e gerar indicadores essenciais para a análise de eficiência energética. Os objetivos específicos também foram cumpridos: os dados foram organizados em planilhas no SharePoint; a conexão e o tratamento foram realizados no Power Query; o modelo dimensional foi construído com tabelas fato e dimensão; as medidas DAX calcularam índices e variações mensais; e os dashboards apresentaram os resultados de forma estruturada, permitindo simulações e comparações.

Embora atendidos, alguns objetivos, especialmente aqueles relacionados à precisão das estimativas, podem ser aprofundados em versões futuras, com a automação da coleta e a integração de novas variáveis de processo.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema de monitoramento e simulação de consumo de água, energia e lenha utilizando o Power BI como plataforma analítica. A construção do modelo dimensional, o tratamento dos dados no Power Query e a elaboração de indicadores por meio permitiram estruturar uma solução capaz de apoiar a análise de desempenho energético no ambiente industrial. A prototipação demonstrou o potencial de integração entre práticas de engenharia e ferramentas de *Business Intelligence*, oferecendo uma base consistente para monitoramento, visualização e simulação de cenários operacionais.

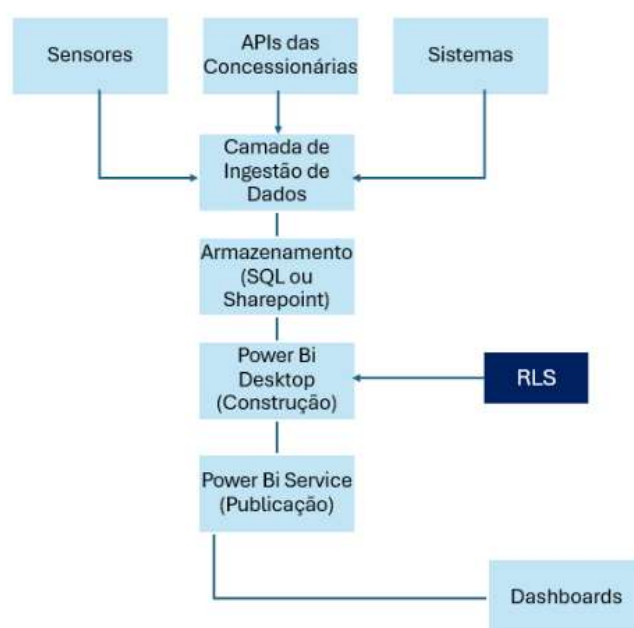
6. RECOMENDAÇÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Para uma futura adoção em ambiente industrial, é recomendável incluir mecanismos de segurança como o *Row-Level Security* (RLS), garantindo que apenas usuários autorizados acessem as informações operacionais. Também é importante substituir a inserção manual por algum método de coleta automática, seja por sensores, APIs das concessionárias ou integração com sistemas supervisórios, o que tende a reduzir erros e melhorar a regularidade dos registros.

Outra evolução possível é ampliar as variáveis acompanhadas, incorporando fatores operacionais e informações tarifárias reais, permitindo análises mais completas. Além disso, treinamentos para os usuários ajudam a fortalecer a rotina de acompanhamento dos indicadores.

A continuidade do projeto passa pela automação da coleta e pela integração do modelo ao ambiente industrial. A Figura 5 apresenta uma sugestão de arquitetura para essa etapa.

Figura 6 - Arquitetura sugerida para automação da coleta de dados



Fonte: Autor (2025).

Uma etapa seguinte envolve ampliar o modelo analítico, incluindo outras variáveis do processo e indicadores que hoje não foram considerados. Isso ajudaria a tornar as análises mais próximas da realidade operacional. Também seria útil acrescentar um módulo financeiro mais completo, capaz de trabalhar com diferentes tarifas e regras de cobrança, já que esses fatores influenciam bastante o custo final de energia. Por fim, a migração para o Power BI Service, junto com o uso de políticas de segurança como o RLS, tende a facilitar o uso do sistema em escala maior dentro da empresa, permitindo que ele seja integrado às rotinas de monitoramento energético.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 50001:2018**: *Sistemas de gestão de energia: requisitos com orientações para uso*. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

BRASIL. **Agência Nacional de Energia Elétrica**. *Programa de Eficiência Energética*. Brasília: ANEEL. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/programa-de-eficiencia-energetica>. Acesso em: 29 set. 2025.

BRASIL. **Ministério de Minas e Energia**. *Transporte e indústria representaram 64,8% do consumo de energia do país em 2023*. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/transporte-e-industria-representaram-64-8-do-consumo-de-energia-do-pais-em-2023>. Acesso em: 29 set. 2025.

CEMIG. **Tabela de tarifas de energia elétrica consumidores industriais**. Disponível em: <https://www.cemig.com.br>. Acesso em: 4 nov. 2025.

DAVENPORT, T. H.; HARRIS, J. G. **Competing on Analytics: the New Science of Winning**. Boston: Harvard Business School Press, 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Atlas da Eficiência Energética Brasil 2024**. Rio de Janeiro: EPE, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-da-eficiencia-energetica-brasil>. Acesso em: 29 set. 2025.

FALCONI, Vicente. **O verdadeiro poder**. Belo Horizonte: Editora Fundação Christiano Ottoni, 2008.

FRANCISCHINI, Andressa S. N.; FRANCISCHINI, Paulino G. **Indicadores de desempenho: dos objetivos à ação**. São Paulo: Atlas, 2018.

MICROSOFT. **Modelagem de dados no Power BI: modelo estrela**. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/power-bi/guidance/star-schema>. Acesso em: 4 nov. 2025.

MICROSOFT. **RLS (segurança em nível de linha) com o Power BI Microsoft Fabric**. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/power-bi/guidance/rls-line-level-security>. Acesso em: 4 nov. 2025.

MICROSOFT. **Visão geral do Power BI**. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/power-bi/fundamentals/power-bi-overview>. Acesso em: 4 nov. 2025.



ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nações Unidas Brasil, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel>. Acesso em: 29 set. 2025.

SEBRAE. **Eficiência Energética**. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/eficienciaenergetica>. Acesso em: 29 nov. 2025.