



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO, DE CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENG. DE CONTROLE, AUTOMAÇÃO E COMPUTAÇÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Luís Guilherme Volkmann

**Desenvolvimento de Solução de *Business Intelligence* para Gestão de Ativos
em Concessões Rodoviárias: Uma Aplicação no Contexto do SIGACO com
Power BI**

Blumenau
2025

Luís Guilherme Volkmann

**Desenvolvimento de Solução de *Business Intelligence* para Gestão de Ativos
em Concessões Rodoviárias: Uma Aplicação no Contexto do SIGACO com
Power BI**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação do Centro Tecnológico, de Ciências Exatas e Educação da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Tiago Davi Curi Busarello, Dr.

Blumenau

2025

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.
Dados inseridos pelo próprio autor.

Volkmann, Luís Guilherme

Desenvolvimento de Solução de Business Intelligence para
Gestão de Ativos em Concessões Rodoviárias: Uma Aplicação
no Contexto do SIGACO com Power BI / Luís Guilherme
Volkmann ; orientador, Tiago Davi Curi Busarello, 2025.

52 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau,
Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Blumenau,
2025.

Inclui referências.

1. Engenharia de Controle e Automação. 2. Análise de
dados. 3. Gestão de ativos. 4. Business intelligence. 5.
Power BI. I. Curi Busarello, Tiago Davi . II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de
Controle e Automação. III. Título.

Luís Guilherme Volkmann

**Desenvolvimento de Solução de *Business Intelligence* para Gestão de Ativos
em Concessões Rodoviárias: Uma Aplicação no Contexto do SIGACO com
Power BI**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de
“Engenheiro de Controle e Automação” e aprovado em sua forma final pelo Curso de
Graduação em Engenharia de Controle e Automação.

Blumenau, 10 de Julho de 2025.

Banca Examinadora:

 Documento assinado digitalmente
Tiago Davi Curi Busarello
Data: 22/07/2025 14:21:18-0300
CPF: ***.950.098-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Tiago Davi Curi Busarello, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

 Documento assinado digitalmente
Mauri Ferrandin
Data: 22/07/2025 14:41:19-0300
CPF: ***.580.869-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Mauri Ferrandin, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

 Documento assinado digitalmente
Franciely Velozo Aragao
Data: 22/07/2025 14:49:03-0300
CPF: ***.925.729-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Franciely Velozo Aragão, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina e aos professores que contribuíram para minha formação acadêmica, oferecendo base sólida para os desafios profissionais enfrentados ao longo desta jornada.

À ECL Engenharia, expresso minha sincera gratidão pela primeira oportunidade no mercado de trabalho, em especial ao João V. Eccel, por ter confiado no meu potencial e me introduzido ao universo dos dados. Foi por meio dessa experiência inicial que tive contato com o projeto aqui apresentado, o qual viria a se tornar parte fundamental da minha trajetória.

À Kartado, agradeço pela confiança no meu trabalho e pela oportunidade de crescimento profissional. Em especial, registro meu reconhecimento aos colegas que participam do desenvolvimento da solução e contribuem ativamente para sua evolução técnica e funcional.

Estendo meus agradecimentos à equipe da concessionária parceira, pelo engajamento, abertura e constante colaboração durante todo o processo de desenvolvimento do painel, tornando possível uma entrega alinhada à realidade e às necessidades operacionais.

Agradeço profundamente aos meus pais, Deise e Fábio, e ao meu irmão João, por todo o amor, suporte e incentivo, pela base que me permitiu chegar até aqui e por nunca medirem esforços ao longo da minha trajetória.

À Itala, minha namorada, agradeço pela paciência, pelo apoio emocional, por estar ao meu lado em cada etapa deste processo e por ser uma fonte constante de amor, carinho e motivação.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, deixo aqui meu mais sincero agradecimento.

“Coletar dados é apenas o começo. O verdadeiro poder está em transformá-los em decisões.” (MARR, Bernard, 2021)

RESUMO

Ativos rodoviários são os elementos que compõem a infraestrutura de uma rodovia, como pavimento, sinalização, dispositivos de segurança e obras de arte especiais. A gestão eficiente desses ativos é essencial para garantir a segurança, a durabilidade da malha viária e o cumprimento das exigências regulatórias. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma solução de *Business Intelligence* voltada à análise operacional de uma concessionária rodoviária, com foco no atendimento parcial à Fase 3 do Sistema de Gestão de Ativos Controlados pela ANTT (SIGACO). A ferramenta foi desenvolvida com base em dados reais disponibilizados pela concessionária por meio da plataforma Kartado, utilizando Power BI como ambiente de visualização e Amazon Athena como fonte de dados. A modelagem dimensional adotada, estruturada em esquema estrela, permitiu organizar os dados por sistemas de gerência e facilitar sua análise. Como resultado, obteve-se um painel analítico com capacidade de apoiar a gestão interna da empresa, promover maior transparência sobre os serviços executados e antecipar requisitos regulatórios. A solução encontra-se em uso e representa uma etapa significativa rumo à maturidade analítica exigida pelo SIGACO.

Palavras-chave: *business intelligence*; gestão de ativos; concessão rodoviária; Análise de dados; Power BI.

ABSTRACT

Roadway assets are the components that make up highway infrastructure, such as pavement, signage, safety devices, and special engineering structures. Efficient management of these assets is essential to ensure road safety, the durability of the infrastructure, and compliance with regulatory requirements. This work presents the development of a *Business Intelligence* solution aimed at the operational analysis of a highway concessionaire, with partial alignment to Phase 3 of the Asset Management System regulated by the ANTT (SIGACO). The tool was developed using real operational data provided by the concessionaire through the Kartado platform, with Power BI as the visualization environment and Amazon Athena as the data source. The dimensional modeling adopted, based on a star schema, allowed the organization of data by management systems and facilitated analytical exploration. As a result, an analytical dashboard was created, capable of supporting the company's internal management, providing greater transparency on executed services, and anticipating regulatory requirements. The solution is currently in use and represents a significant step toward the analytical maturity required by SIGACO.

Keywords: business intelligence; asset management; highway concession; Data analysis; Power BI.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo de serviços da concessão rodoviária. Fonte: adaptado da ANTT.	15
Figura 2 – Subsistemas do SIGACO. Fonte: adaptado da ANTT.	16
Figura 3 – Modelagem em estrela. Fonte: Microsoft.	21
Figura 4 – Fluxo de integração entre campo e escritório utilizando a plataforma Kartado. Fonte: Adaptado da Kartado.	26
Figura 5 – Etapas do desenvolvimento. Fonte: Autor.	27
Figura 6 – Organização das consultas por camadas no Power BI. Fonte: Autor.	30
Figura 7 – Exemplo da modelagem dimensional em estrela para a tabela fato de apontamentos. Fonte: Autor.	31
Figura 8 – Página de visão geral. Fonte: Autor.	32
Figura 9 – Página inicial do <i>dashboard</i> - Menu. Fonte: Autor.	35
Figura 10 – Interface de desenvolvimento no Figma. Fonte: Autor.	36
Figura 11 – Configuração do visual de mapa interativo no Power BI. Fonte: Autor.	38
Figura 12 – Página de monitoração. Fonte: Autor.	39
Figura 13 – Página de detalhe dos ativos. Fonte: Autor.	40
Figura 14 – Página de serviços. Fonte: Autor.	41
Figura 15 – Página de detalhe dos apontamentos. Fonte: Autor.	42
Figura 16 – Página de programações – visão geral. Fonte: Autor.	42
Figura 17 – Página de programações – visão detalhada. Fonte: Autor.	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
BI	<i>Business intelligence</i>
DAX	<i>Data Analysis Expressions</i>
DSS	Sistemas de suporte à decisão
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
ETL	<i>Extract, Transform, Load</i>
KPIs	Indicadores-chave de desempenho
OLAP	<i>Online Analytical Processing</i>
PER	Programa de Exploração da Rodovia
SGE	Sistema de Gerência de Edificações e Instalações Operacio- nais
SGF	Sistema de Gerência de Faixas de Domínio
SGITS	Sistema de Gerência de Equipamentos de ITS
SGOAC	Sistema de Gerência de Obras de Arte Correntes
SGOAE	Sistema de Gerência de Obras de Arte Especiais
SGOST	Sistema de Gerência de Operação e Segurança de Túneis
SGP	Sistema de Gerência de Pavimentos
SGS	Sistema de Gerência de Sinalização
SGSEI	Sistema de Gerência de Sistemas Elétricos e Iluminação
SGTEC	Sistema de Gerência de Terraplenos e Estruturas de Contenção
SIG	Sistema de Informações Gerenciais
SIGACO	Sistema de Gestão de Ativos da Concessão
UI	<i>User Interface</i>
UX	<i>User Experience</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	CONCESSÕES RODOVIÁRIAS NO BRASIL	14
2.2	GESTÃO DE ATIVOS EM CONCESSIONÁRIAS E O SIGACO	14
2.3	<i>BUSINESS INTELLIGENCE</i> : CONCEITOS E APLICAÇÕES	18
2.4	POWER BI COMO FERRAMENTA DE DESENVOLVIMENTO	19
2.4.1	Modelagem de Dados: tabelas fato e dimensão	20
2.5	PRINCÍPIOS DE UX/UI EM SOLUÇÕES DE BI	22
3	METODOLOGIA	24
3.1	ABORDAGEM DO TRABALHO	24
3.2	AMBIENTE DE TRABALHO E ORIGEM DOS DADOS	25
3.2.1	A Kartado e seu papel no SIGACO	25
3.2.2	Contexto da concessionária atendida	26
3.2.3	Origem, natureza e organização dos dados utilizados	26
3.3	ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO	27
3.3.1	Levantamento de requisitos e definição de escopo	28
3.3.2	Extração e preparação dos dados	29
3.3.3	Modelagem dimensional dos dados	29
3.3.4	Construção do <i>dashboard</i> no Power BI	31
3.3.5	Validação da solução	32
4	DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO	34
4.1	RESULTADOS DAS ETAPAS DE CONSTRUÇÃO	34
4.2	ORGANIZAÇÃO GERAL DA INTERFACE	34
4.2.1	Design visual no Figma	36
4.3	APRESENTAÇÃO DAS PÁGINAS DO <i>DASHBOARD</i>	37
4.3.1	Visão Geral	37
4.3.2	Monitoração	38
<i>4.3.2.1</i>	<i>Detalhe dos ativos</i>	<i>39</i>
4.3.3	Serviços	40
<i>4.3.3.1</i>	<i>Detalhe dos apontamentos</i>	<i>41</i>
4.3.4	Programações	41
<i>4.3.4.1</i>	<i>Modelagem da tabela de programações</i>	<i>43</i>
<i>4.3.4.2</i>	<i>Indicador acumulado de execução</i>	<i>44</i>
5	ANÁLISE DA SOLUÇÃO E PERSPECTIVAS DE EVOLUÇÃO	46
5.1	INTEGRAÇÃO E INTERATIVIDADE DOS DADOS	46
5.2	LIMITAÇÕES ATUAIS E PROPOSTAS DE EVOLUÇÃO	47

5.3	SÍNTESE DOS RESULTADOS E CONTRIBUIÇÕES	48
6	CONCLUSÃO	49
	Referências	50

1 INTRODUÇÃO

O gerenciamento eficiente de ativos é um elemento estratégico para empresas responsáveis pela operação e manutenção de rodovias concedidas. Em um contexto no qual a qualidade da infraestrutura impacta diretamente a segurança dos usuários e a fluidez do tráfego, gerir de forma adequada elementos como pavimentos, sinalização, dispositivos de segurança e estruturas auxiliares é fundamental para assegurar a disponibilidade e a durabilidade da malha viária sob concessão. A complexidade envolvida na administração desses ativos, aliada à necessidade de conformidade com as diretrizes regulatórias, exige o uso de ferramentas capazes de consolidar dados operacionais, monitorar indicadores de desempenho e orientar a tomada de decisões com base em evidências.

Nesse cenário, o uso de informações operacionais para subsidiar decisões técnicas e gerenciais tornou-se um diferencial competitivo. Ferramentas de *Business Intelligence* (BI) permitem consolidar grandes volumes de dados e transformá-los em insights acessíveis e relevantes para os gestores, promovendo maior controle sobre operações, identificação de padrões e antecipação de problemas (MORAIS BRITO; BERSSANETI; LAURINDO, 2023). Ao integrar diferentes fontes e apresentar visualizações interativas, o BI torna-se um recurso valioso para o setor de infraestrutura viária, especialmente diante das exigências da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT).

Nos últimos anos, a ANTT estabeleceu novas diretrizes para o acompanhamento dos ativos de infraestrutura sob concessão, culminando na implementação do Sistema de Gerência de Ativos Controlados por Resultados (SIGACO). Essa plataforma visa padronizar e aprimorar a forma como os dados de campo são coletados, estruturados e utilizados para embasar as decisões regulatórias. Na Fase 3 do SIGACO, atualmente em processo de implantação, exige-se que as concessionárias apresentem modelos analíticos que consolidem os dados operacionais e possibilitem o monitoramento do desempenho dos sistemas gerenciais de ativos, como pavimentos, obras de arte, sinalização, entre outros.

Apesar de sua importância, a Fase 3 do SIGACO ainda carece de definições técnicas claras por parte da ANTT, dificultando a padronização de soluções pelas concessionárias. Além disso, a grande diversidade e volume de dados gerados pelas operações diárias tornam desafiadora a construção de modelos de análise robustos, escaláveis e de fácil uso por diferentes perfis de usuários.

Este trabalho propõe o desenvolvimento de uma solução de *Business Intelligence* construída sobre dados reais de uma concessão rodoviária federal, com o objetivo de apoiar a implantação da Fase 3 do SIGACO. A solução visa consolidar, estruturar e apresentar os dados operacionais por sistema de gerência, em uma interface interativa desenvolvida em Power BI. Com base nas exigências da ANTT e nas necessidades internas da concessionária, buscou-se desenvolver um painel capaz de atender simultaneamente às demandas regulatórias e à gestão interna.

A ferramenta foi desenvolvida por meio da integração de dados extraídos da plataforma Kartado — utilizada pela concessionária como sistema de apoio à gestão de ativos —, aplicando princípios de modelagem dimensional, organização por camadas lógicas e boas práticas de visualização de dados. O processo incluiu o design da interface, a modelagem dos dados, a construção dos visuais e a validação com os usuários da própria concessionária.

Ao final, a solução resultante representa uma etapa preparatória importante para o atendimento à Fase 3 do SIGACO e oferece uma base sólida para futuras evoluções, como a implementação de modelos de desempenho por sistema de gerência.

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos: o Capítulo 2 apresenta os fundamentos teóricos sobre gestão de ativos, *Business Intelligence* e os requisitos do SIGACO. O Capítulo 3 descreve os procedimentos metodológicos. O Capítulo 4 detalha o desenvolvimento da solução, incluindo o processo de construção e as interfaces desenvolvidas. O Capítulo 5 analisa a integração dos dados, discute as limitações encontradas e apresenta propostas de evolução. Por fim, são apresentadas as considerações finais.

1.1 OBJETIVOS

Objetivo geral

Desenvolver uma solução de *Business Intelligence* (BI) com base em dados operacionais da concessionária, a fim de apoiar o atendimento às exigências da Fase 3 do SIGACO e contribuir com a gestão interna da organização.

Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral, este trabalho propõe os seguintes objetivos específicos:

- Estruturar os dados operacionais disponíveis na plataforma Kartado para uso analítico.
- Modelar as informações com base na lógica dimensional, promovendo desempenho e consistência.
- Construir painéis interativos no Power BI com foco na usabilidade, clareza visual e segmentação por sistema de gerência.
- Propor uma solução alinhada aos requisitos da ANTT e às demandas práticas da concessionária.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os principais conceitos e abordagens teóricas que sustentam o desenvolvimento deste trabalho. São abordados temas relacionados à gestão de ativos em concessões rodoviárias, às diretrizes da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) e à Fase 3 do SIGACO, além de fundamentos sobre o uso de (BI) e sua aplicação em ambientes operacionais e regulatórios.

2.1 CONCESSÕES RODOVIÁRIAS NO BRASIL

As concessões rodoviárias são modelos de parceria entre o poder público e a iniciativa privada que visam garantir a operação, manutenção e ampliação de trechos rodoviários por meio de contratos de longo prazo. Nesses contratos, uma empresa privada assume a responsabilidade pela gestão da infraestrutura em troca do direito de explorar receitas, como a cobrança de pedágios, sob condições reguladas.

No Brasil, as concessões federais de rodovias são reguladas pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), que define os marcos contratuais, indicadores de desempenho, obrigações operacionais e instrumentos de fiscalização (ANTT, 2025b). O principal documento técnico que orienta a atuação da concessionária ao longo do contrato é o Programa de Exploração da Rodovia (PER), que detalha as etapas, prazos, parâmetros e serviços obrigatórios (ANTT, 2025a).

O ciclo de vida de uma concessão inclui fases como: (i) Assunção, em que a concessionária inicia os levantamentos e o inventário da malha viária; (ii) Trabalhos Iniciais, voltados à correção de problemas emergenciais; (iii) Recuperação e Ampliação, com intervenções estruturais; e (iv) Manutenção e Conservação contínuas. Ao final da concessão, os ativos devem ser devolvidos em condições técnicas definidas contratualmente.

Para garantir a transparência e a rastreabilidade da gestão da infraestrutura, a ANTT exige o uso de sistemas informatizados, como o SIGACO, que concentram dados sobre os ativos, os planos de manutenção, os registros de inspeção e os modelos de desempenho. A correta gestão desses dados é fundamental para a fiscalização eficiente e para a conformidade da concessionária com as exigências contratuais.

Nesse contexto, a aplicação de soluções de *Business Intelligence* na área de concessões rodoviárias representa uma oportunidade para estruturar e visualizar informações críticas de forma acessível, apoiando tanto a governança interna quanto a prestação de contas ao poder concedente.

2.2 GESTÃO DE ATIVOS EM CONCESSIONÁRIAS E O SIGACO

A gestão de ativos desempenha um papel central nas concessões rodoviárias, sendo um dos principais mecanismos para garantir a sustentabilidade técnica e a conformidade

regulatória ao longo do contrato. Inserida nas diretrizes do Programa de Exploração da Rodovia (PER), essa atividade visa monitorar, manter e aprimorar continuamente a infraestrutura concedida. Para sistematizar esse processo, a ANTT estabeleceu a obrigatoriedade de implantação do Sistema de Gestão de Ativos da Concessão, uma plataforma integrada voltada à organização, fiscalização e análise do ciclo de vida dos ativos operacionais.

O SIGACO surge como resposta à complexidade das obrigações técnicas previstas ao longo do contrato, que envolvem diversas frentes de atuação — como recuperação, conservação, monitoração e ampliação da capacidade da rodovia. Essas atividades compõem um ciclo operacional estruturado, conforme ilustrado na Figura 1, e demandam uma gestão baseada em dados confiáveis, atualizados e acessíveis. Nesse sentido, o SIGACO organiza os processos de inventário, inspeção, registro histórico e modelagem de desempenho dos ativos, permitindo maior controle e transparência tanto para a concessionária quanto para a ANTT.



Figura 1 – Ciclo de serviços da concessão rodoviária. Fonte: adaptado da ANTT.

Para garantir a rastreabilidade das informações e o cumprimento de metas contratuais, a ANTT exige a implantação do Sistema de Gestão de Ativos da Concessão. Trata-se de uma solução digital integrada, composta por múltiplos subsistemas de gerenciamento, cada qual responsável por categorias específicas de ativos, como pavimentos, sinalização, obras de arte, edificações, sistemas elétricos, entre outros.

O objetivo do SIGACO é consolidar, organizar e permitir o acesso a dados sobre os ativos da concessão. Através do sistema, espera-se aprimorar o planejamento de intervenções, acompanhar a vida útil dos ativos, registrar inspeções, estimar cenários de investimento e permitir o monitoramento contínuo da infraestrutura por parte do poder concedente. A Figura 2 apresenta a organização geral dos subsistemas que compõem o SIGACO.



Figura 2 – Subsistemas do SIGACO. Fonte: adaptado da ANTT.

Cada subsistema é responsável por um tipo específico de ativo sob responsabilidade da concessionária. A seguir, apresentam-se suas respectivas funções:

- **SGP — Sistema de Gerência de Pavimentos:** responsável pelo monitoramento da condição do pavimento da rodovia, estimando vida útil, necessidade de intervenções e aderência a parâmetros de desempenho.
- **SGS — Sistema de Gerência de Sinalização:** registra, avalia e planeja a manutenção e adequação de placas, sinalizações horizontais e dispositivos de segurança viária.
- **SGOAE — Sistema de Gerência de Obras de Arte Especiais (OAEs):** voltado à gestão de pontes, viadutos e passarelas, incluindo inspeções estruturais e planos de intervenção.
- **SGOAC — Sistema de Gerência de Obras de Arte Correntes (OACs):** gerencia estruturas como bueiros, galerias e pequenos dispositivos de drenagem e contenção.
- **SGTEC — Sistema de Gerência de Terraplenos e Estruturas de Contenção:** controla taludes, encostas, muros de contenção e demais elementos geotécnicos da rodovia.

- **SGF — Sistema de Gerência de Faixas de Domínio:** monitora as áreas laterais à faixa de rolamento, incluindo ocupações irregulares, acessos e interferências externas.
- **SGE — Sistema de Gerência de Edificações e Instalações Operacionais:** organiza os dados de prédios operacionais, bases de atendimento, centros de controle e demais edificações da concessionária.
- **SGSEI — Sistema de Gerência de Sistemas Elétricos e Iluminação:** cuida da operação, inspeção e manutenção de iluminação pública, cabos, quadros elétricos e outros sistemas energéticos.
- **SGOST — Sistema de Gerência de Operação e Segurança de Túneis:** voltado ao controle da operação, ventilação, iluminação e segurança estrutural de túneis rodoviários.
- **SGITS — Sistema de Gerência de Equipamentos de ITS (Intelligent Transportation Systems):** contempla os dispositivos tecnológicos da rodovia, como câmeras, painéis de mensagem, sensores e sistemas de monitoramento remoto.

A estrutura do SIGACO é implementada em três fases principais:

- **Fase 1 — Plano de Gestão de Ativos:** elaboração do planejamento técnico, definição dos modelos de desempenho, metodologias de inspeção, ferramentas digitais e cronograma de implantação.
- **Fase 2 — Inventário Inicial:** levantamento detalhado de todos os ativos, com base em vídeos e imagens georreferenciadas, fichas técnicas e registros de inspeções anteriores.
- **Fase 3 — Implantação dos Subsistemas:** ativação das funcionalidades operacionais de cada subsistema, com alimentação periódica da base de dados e disponibilização do acesso à ANTT.

A partir da fase 3, o SIGACO passa a operar continuamente, com expectativa de refinamento progressivo dos modelos de desempenho e de melhoria na aderência entre esses modelos e os dados reais observados ao longo da concessão. Ao final do contrato, a concessionária deve entregar à ANTT toda a base de dados histórica dos ativos, além dos modelos desenvolvidos e documentos de gestão.

Apesar de sua importância, as diretrizes da ANTT para a operacionalização do SIGACO ainda apresentam lacunas, sobretudo quanto à forma de apresentação dos dados e visualização dos indicadores. Por esse motivo, concessionárias têm buscado desenvolver soluções próprias de apoio à gestão de ativos, utilizando ferramentas de BI como forma de antecipar exigências e estruturar seus processos de forma mais eficaz. Nesse contexto, o uso do Power BI se mostra uma alternativa viável para a integração e visualização de

dados da concessão, promovendo maior transparência, controle e agilidade nas decisões operacionais.

2.3 BUSINESS INTELLIGENCE: CONCEITOS E APLICAÇÕES

O crescente volume de dados gerados no contexto organizacional impulsionou a adoção de sistemas capazes de transformar essas informações em conhecimento útil. Nesse cenário, ferramentas de (BI) se consolidaram como instrumentos estratégicos para apoiar a tomada de decisões baseadas em dados. Ao integrar dados de diferentes fontes e apresentar informações de forma acessível, o BI possibilita uma visão abrangente e orientada à ação, sendo amplamente adotado em ambientes corporativos e setores regulados, como o de infraestrutura viária (CHEN; CHIANG; STOREY, 2012).

O conceito de *Business Intelligence* refere-se a um conjunto de tecnologias, processos e práticas que têm como objetivo transformar dados brutos em informações relevantes para apoiar a tomada de decisão organizacional. Segundo Turban (TURBAN *et al.*, 2014), BI envolve a coleta, organização, análise e apresentação de dados por meio de sistemas informatizados, geralmente integrando bancos de dados com ferramentas de visualização interativa.

A história do BI remonta ao século XIX, quando o termo foi utilizado pela primeira vez por Richard Millar Devens, ao descrever como um banqueiro bem-sucedido utilizava informações de mercado antes de seus concorrentes. Em 1958, Hans Peter Luhn, pesquisador da IBM, publicou um artigo seminal que propunha mecanismos automáticos para coleta e disseminação de informações, lançando as bases para os sistemas modernos de inteligência de negócios (IBM, 2025). Na década de 1960, surgiram os primeiros sistemas de suporte à decisão (DSS), evoluindo posteriormente para tecnologias como OLAP (*Online Analytical Processing*) e data warehouses, que permitiram maior capacidade de análise e organização de grandes volumes de dados. Nos anos 1990, o BI ganhou espaço no mundo corporativo, mas ainda era altamente dependente das áreas de TI. Com os avanços das ferramentas self-service, como Power BI, Tableau e Qlik, o acesso à análise de dados tornou-se mais democrático e integrado aos fluxos de trabalho dos gestores.

A utilização de BI traz diversos benefícios para as organizações, entre os quais se destacam a melhoria da qualidade das decisões, o aumento da eficiência operacional e a obtenção de vantagem competitiva (CHEN; CHIANG; STOREY, 2012). Ao consolidar diferentes fontes de dados e apresentar informações de forma visual e acessível, o BI permite identificar padrões, antecipar problemas e avaliar o impacto de diferentes cenários. Para os gestores, isso significa mais agilidade e embasamento técnico nas decisões. Além disso, o BI contribui para identificar gargalos, otimizar recursos, monitorar indicadores em tempo real e reduzir a dependência de relatórios manuais e reativos.

O processo de BI pode ser dividido em três grandes etapas: (i) Extração, Transformação e Carga de Dados (ETL); (ii) Modelagem de Dados; e (iii) Apresentação Visual. A

etapa de ETL consiste na coleta de dados brutos de diversas fontes, sua padronização e armazenamento em estruturas otimizadas. A modelagem de dados define como as informações se relacionam — normalmente utilizando estruturas como tabelas fato e dimensão. Por fim, a apresentação visual se dá por meio de dashboards e relatórios que tornam os dados compreensíveis e acionáveis pelos usuários.

No setor público, o uso de BI tem crescido como uma ferramenta de transparência e eficiência (LEITE; FELISBINO; REZENDE, 2006). Governos e agências públicas têm utilizado *dashboards* e sistemas de inteligência para acompanhar indicadores de políticas públicas, controlar gastos, avaliar desempenho de programas e melhorar a prestação de serviços à população. Ferramentas como Power BI, inclusive, já foram adotadas em secretarias municipais, tribunais de contas e órgãos federais para acompanhamento de obras, gestão hospitalar, controle orçamentário, entre outros.

Na área de infraestrutura e concessões, o BI se mostra especialmente relevante. Por envolver grandes volumes de dados técnicos, contratuais e operacionais, as concessionárias enfrentam desafios na consolidação e análise dessas informações. O aumento da dificuldade para organizar tamanha quantidade de dados, mantendo o nível de detalhes sobre as operações de uma concessionária, pode ser resolvido com a utilização de plataformas de BI integradas a uma fonte de dados estruturada. Dessa forma, é possível estruturar indicadores de desempenho, integrar dados de sistemas internos (como SIGs e ERPs), monitorar a execução de serviços e até simular cenários futuros de investimento e manutenção. Isso é particularmente estratégico em contextos regulados, como os contratos de concessão rodoviária, onde há exigências de cumprimento de parâmetros técnicos e de prestação de contas ao órgão regulador.

2.4 POWER BI COMO FERRAMENTA DE DESENVOLVIMENTO

O Power BI é uma plataforma de *Business Intelligence* desenvolvida pela Microsoft, amplamente utilizada em ambientes corporativos, governamentais e acadêmicos. Sua proposta é oferecer uma solução completa para o tratamento e a visualização de dados, combinando funcionalidades de extração, transformação, modelagem e análise interativa em uma única interface (RICHARDSON *et al.*, 2020).

Entre seus principais diferenciais técnicos, destacam-se: a ampla compatibilidade com fontes de dados diversas (relacionais e não relacionais, locais ou em nuvem), a linguagem DAX (*Data Analysis Expressions*) para criação de medidas personalizadas, e o uso do Power Query para limpeza e transformação de dados. Além disso, o Power BI possui uma forte integração com outras ferramentas do ecossistema Microsoft, como Excel, SharePoint, Azure e Teams, o que facilita sua adoção em organizações que já utilizam essas soluções.

A linguagem DAX (*Data Analysis Expressions*) é uma ferramenta poderosa utilizada no Power BI para criar cálculos e medidas personalizadas a partir dos dados

importados. Com uma sintaxe semelhante à do Excel, o DAX permite realizar operações complexas, como cálculos estatísticos, agregações, filtros dinâmicos e análises temporais, possibilitando a construção de relatórios e visualizações mais sofisticados. Sua flexibilidade e capacidade de manipular grandes volumes de dados a tornam essencial para análises avançadas e personalizadas no ambiente do Power BI (MICROSOFT, 2022).

Uma das características que torna o Power BI especialmente atrativo para ambientes de infraestrutura e gestão pública é a combinação entre flexibilidade visual e controle de governança. A ferramenta oferece recursos de segurança e conformidade, como controle de acesso por nível de usuário, criptografia de dados, auditoria de uso e integração com políticas corporativas de dados sensíveis — o que é fundamental em setores regulados, como concessões rodoviárias.

O Power BI também equilibra funcionalidades de BI corporativo e de autoatendimento. Enquanto usuários técnicos podem desenvolver modelos complexos e relatórios avançados, usuários não técnicos conseguem interagir com os dashboards por meio de filtros, menus intuitivos e visualizações personalizadas, sem necessidade de programação. Esse modelo híbrido é uma das razões pelas quais a ferramenta tem se difundido amplamente em organizações de médio e grande porte.

Outro aspecto relevante é a capacidade de visualização de dados. O Power BI oferece painéis dinâmicos, mapas geográficos, gráficos interativos e indicadores visuais customizáveis, permitindo a criação de narrativas visuais (data storytelling) que facilitam a compreensão de padrões e tendências. Os painéis podem ser acessados via navegador, aplicativo desktop ou dispositivos móveis, com atualizações automatizadas e possibilidade de alertas personalizados.

Por fim, destaca-se a escalabilidade da solução, com modelos de licenciamento adaptáveis ao porte da organização e à quantidade de usuários, e uma comunidade global ativa que compartilha boas práticas, tutoriais e suporte técnico. Essas características tornam o Power BI uma das ferramentas mais completas para projetos de BI que demandam agilidade, conectividade, segurança e facilidade de uso — como é o caso de soluções analíticas voltadas ao atendimento de requisitos regulatórios, como o SIGACO.

2.4.1 Modelagem de Dados: tabelas fato e dimensão

A modelagem de dados é uma etapa fundamental na construção de soluções de BI, pois define como as informações serão organizadas, relacionadas e acessadas dentro de um sistema analítico. Dentre as abordagens mais consolidadas na área, destaca-se a modelagem dimensional, cuja proposta é estruturar os dados de forma a facilitar a análise e otimizar o desempenho das consultas.

Segundo Kimball (KIMBALL; ROSS, 2013), a modelagem dimensional baseia-se na criação de dois tipos principais de estruturas: as *tabelas fato* e as *tabelas dimensão*. As tabelas fato concentram os dados quantitativos mensuráveis de um processo de negócio,

como quantidades, frequências, tempos ou valores financeiros. Cada registro em uma tabela fato representa um evento, geralmente associado a múltiplas dimensões.

As tabelas dimensão, por sua vez, fornecem o contexto descritivo necessário para interpretar os fatos. Contêm atributos como datas, categorias, localizações, tipos, status, entre outros, que permitem ao usuário realizar análises mais significativas. Por exemplo, em um sistema de gestão de ativos rodoviários, dimensões comuns podem incluir tempo, tipo de ativo, local da ocorrência ou classificação do evento registrado.

A relação entre as tabelas fato e dimensão forma uma estrutura lógica conhecida como *modelo estrela* (*star schema*) (MICROSOFT, 2025), em que a tabela fato ocupa o centro do modelo e se conecta diretamente a diversas tabelas dimensão. Essa estrutura favorece a simplicidade de navegação, o desempenho nas consultas e a clareza na construção de relatórios e dashboards.

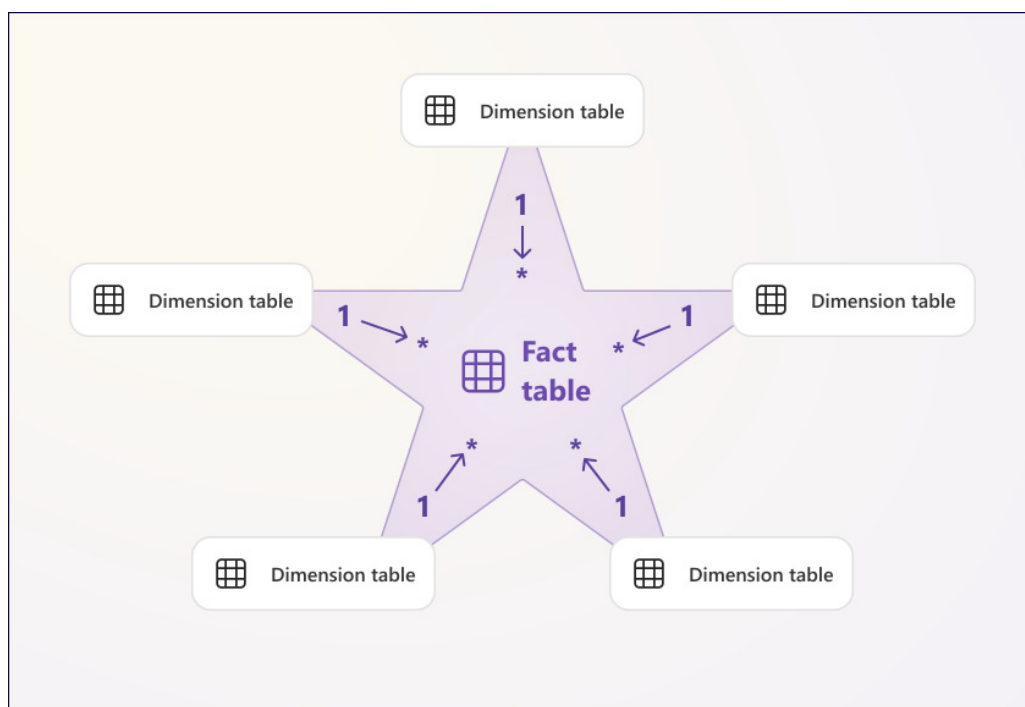


Figura 3 – Modelagem em estrela. Fonte: Microsoft.

A modelagem dimensional é especialmente apropriada para aplicações de BI que envolvem análise de grandes volumes de dados históricos, com necessidade de segmentações, agregações e comparações ao longo do tempo. Ela também é compatível com as principais ferramentas de visualização de dados, como Power BI, Tableau e Qlik, facilitando a criação de painéis interativos e flexíveis.

Entre as boas práticas recomendadas na modelagem dimensional, destacam-se o uso de chaves substitutas (*surrogate keys*) para garantir a integridade referencial, o planejamento adequado dos níveis de granularidade das tabelas fato e a organização lógica das dimensões (SÁNCHEZ, 2020). A estrutura adotada neste trabalho foi o modelo estrela (*star schema*), no qual a tabela fato se conecta diretamente a múltiplas tabelas dimensão.

Essa abordagem foi escolhida por sua simplicidade estrutural, desempenho superior em consultas analíticas e ampla compatibilidade com ferramentas de *Business Intelligence* modernas, como o Power BI.

Outros modelos de modelagem dimensional também são descritos na literatura, como o modelo floco de neve (*snowflake schema*), que consiste na normalização das tabelas dimensão em múltiplas subdimensões, permitindo menor redundância, mas com aumento da complexidade nas consultas. Já o modelo galáxia de fatos (*fact constellation*) envolve múltiplas tabelas fato que compartilham dimensões comuns, sendo adequado para ambientes analíticos que integram diferentes processos de negócio em um mesmo repositório de dados.

A escolha pelo modelo estrela se justifica pela natureza específica da solução desenvolvida: um painel analítico com foco em desempenho, navegação intuitiva e manutenção simplificada. Tendo em vista que os dados utilizados estão concentrados em um único processo de negócio (a gestão de ativos em uma única concessão) e que a performance de carregamento e consulta é um requisito crítico, o modelo estrela oferece o melhor equilíbrio entre robustez técnica e usabilidade. Essa decisão está em consonância com as diretrizes clássicas propostas por Kimball (KIMBALL; ROSS, 2013), referência consolidada na área de modelagem dimensional para sistemas de apoio à decisão.

Portanto, a modelagem dimensional, ao organizar dados de forma orientada à análise, constitui um pilar essencial na construção de soluções analíticas robustas e de fácil manutenção, sobretudo em domínios complexos como a gestão de ativos em concessões rodoviárias.

2.5 PRINCÍPIOS DE UX/UI EM SOLUÇÕES DE BI

O design de soluções de Business Intelligence vai além da construção de relatórios esteticamente agradáveis. Ele envolve a aplicação de princípios de *User Experience* (UX) e *User Interface* (UI) com o objetivo de otimizar a interação do usuário com os dados, facilitar a interpretação das informações e apoiar a tomada de decisão. Em contextos onde a análise de dados é crítica, como a gestão de ativos regulados, um bom design pode ser tão decisivo quanto os próprios dados (KNAFLIC, 2015).

A usabilidade (UX) refere-se à facilidade com que o usuário compreende, navega e interage com o sistema. Já a interface (UI) diz respeito aos elementos visuais — como cores, ícones, tipografia e espaçamento — que compõem a apresentação das informações. Em conjunto, esses elementos devem seguir princípios como hierarquia visual, consistência, acessibilidade e foco no usuário final.

Uma prática cada vez mais valorizada no design de dashboards é o *data storytelling*, ou narrativa de dados. Trata-se da capacidade de estruturar os elementos visuais de forma lógica e contextual, conduzindo o usuário a identificar padrões, insights e decisões com mais clareza. Diferente de apenas expor métricas, o *data storytelling* busca transmitir uma

mensagem com começo, meio e fim, organizando os dados de forma sequencial, destacando pontos relevantes e guiando o olhar para aquilo que importa (KNAFLIC, 2015).

Algumas diretrizes de boas práticas visuais em BI incluem: limitar o número de cores para evitar poluição visual, utilizar gráficos adequados ao tipo de dado (por exemplo, linhas para séries temporais e barras para comparações categóricas), evitar excesso de informações em um único painel e priorizar indicadores acionáveis. A disposição dos elementos também deve considerar o comportamento natural de leitura (como o padrão em “Z” ou em “F”), com foco nos dados mais críticos nos cantos superiores.

No Power BI, é possível aplicar esses princípios por meio de recursos como filtros interativos, detalhamentos (*drill-down*), dicas contextuais (*tooltips*), navegação por *bookmarks*, painéis responsivos e uso de cartões e ícones. A interatividade deve ser usada para empoderar o usuário, e não para sobrecarregá-lo — cada elemento do dashboard precisa ter um propósito claro.

Em soluções aplicadas à gestão de ativos, como no contexto do SIGACO, dashboards bem projetados podem facilitar a visualização de padrões de falhas, evolução de indicadores de desempenho e alocação de recursos por prioridade, contribuindo diretamente para decisões operacionais mais ágeis e fundamentadas.

Dessa forma, ao unir princípios de UX/UI e técnicas de *data storytelling*, o BI deixa de ser apenas uma ferramenta de exibição de dados e se transforma em um instrumento de comunicação estratégica e suporte à ação.

3 METODOLOGIA

Este capítulo descreve o processo de construção da solução analítica desenvolvida no contexto deste trabalho. São detalhadas as fontes e o tratamento dos dados, a modelagem adotada, o processo de construção visual dos painéis no *Power BI* e as decisões de design aplicadas. Também são discutidas as limitações encontradas, as estratégias de contorno adotadas e a estrutura final da ferramenta.

3.1 ABORDAGEM DO TRABALHO

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma solução técnica de *Business Intelligence* para apoiar a gestão de ativos de uma concessão rodoviária federal, com foco no atendimento à terceira fase do Sistema de Gestão de Ativos da Concessão (SIGACO), regulamentado pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). O foco principal do trabalho está na concepção, implementação e validação de uma ferramenta analítica real, construída a partir de dados operacionais da concessionária.

A solução apresentada foi desenvolvida com participação direta do autor em todas as etapas. Inicialmente, o projeto foi concebido em parceria com a ECL Engenharia, onde o autor atuava como estagiário, participando das primeiras implementações sob orientação técnica de outro desenvolvedor. Com o avanço da solução e a entrega da primeira versão, o autor passou a integrar a equipe da Kartado, assumindo papel de maior responsabilidade no desenvolvimento e na evolução da ferramenta. Atualmente, é um dos principais desenvolvedores do painel utilizado pela concessionária, liderando a estruturação de dados, modelagem dimensional, construção e melhorias de visuais e validações com os usuários. Ainda que o projeto conte com contribuições pontuais de outros profissionais, a versão atual reflete, em grande parte, decisões técnicas e implementações realizadas diretamente pelo autor ao longo de sua trajetória.

A abordagem metodológica adotada é predominantemente quantitativa, pois envolve a análise de dados reais e a organização de informações com base em critérios técnicos e operacionais da gestão de ativos. Embora não envolva análise estatística formal, o projeto incorpora elementos quantitativos ao lidar com indicadores extraídos do sistema corporativo, como frequência de ocorrências, tipos de serviço e detalhamento dos ativos inventariados.

Do ponto de vista dos objetivos, trata-se de uma solução exploratória e descritiva. É exploratória por buscar alternativas viáveis para atender a um requisito regulatório ainda pouco especificado — a visualização de informações consolidadas e modelos de desempenho exigidos na fase 3 do SIGACO. É descritiva na medida em que documenta as etapas técnicas e metodológicas envolvidas na construção da base e modelagem dos dados e na proposição do *dashboard*, permitindo o entendimento do processo de desenvolvimento em sua fase inicial.

Quanto aos procedimentos técnicos, o trabalho configura-se como um estudo de caso, aplicado a uma concessionária específica que opera no setor rodoviário federal e que utiliza a plataforma Kartado para a gestão de seus ativos. A empresa Kartado, que também é o local de atuação profissional do autor, fornece o sistema em que estão registrados os inventários, serviços e intervenções nos ativos físicos da rodovia. A proposta aqui apresentada foi construída a partir de dados reais obtidos nesse ambiente, respeitando diretrizes internas de confidencialidade e uso responsável da informação.

Por fim, a solução também se apoia em levantamento bibliográfico, com o objetivo de embasar teoricamente os conceitos de Business Intelligence, modelagem de dados, gestão de ativos em infraestrutura e princípios de usabilidade na visualização de dados. Embora este trabalho não aborde ainda os modelos preditivos completos esperados na fase 3 do SIGACO, ele estrutura a base inicial de indicadores disponíveis e propõe um caminho concreto para o desenvolvimento progressivo desses modelos em versões futuras da solução.

Com base nesse contexto, o presente trabalho adota uma abordagem aplicada, voltada à construção de uma solução técnica capaz de atender a um desafio real enfrentado por concessionárias de rodovias federais. Considerando a ausência de diretrizes técnicas consolidadas por parte da ANTT para a fase 3 do SIGACO, e a necessidade de traduzir grandes volumes de dados operacionais em informações estratégicas, o projeto se desenvolveu guiado pela seguinte pergunta de pesquisa:

Como transformar dados operacionais dispersos em indicadores estratégicos para gestão de ativos em concessões rodoviárias, utilizando Business Intelligence, diante da ausência de diretrizes técnicas claras na fase 3 do SIGACO?

3.2 AMBIENTE DE TRABALHO E ORIGEM DOS DADOS

3.2.1 A Kartado e seu papel no SIGACO

A Kartado (KARTADO, 2025) é uma empresa de tecnologia que oferece soluções voltadas à gestão de ativos e à otimização de atividades de engenharia no setor de infraestrutura civil. Sua plataforma é utilizada por concessionárias e prestadoras de serviços que operam ativos em segmentos como rodovias, ferrovias, energia e saneamento. A proposta da empresa é conectar, por meio de uma ferramenta integrada, as atividades executadas em campo às análises administrativas, promovendo rastreabilidade, controle operacional e inteligência sobre os ativos físicos.

No contexto das concessões rodoviárias reguladas pela ANTT, a Kartado atua como suporte tecnológico para as três fases do Sistema de Gestão de Ativos da Concessão (SIGACO). Sua plataforma permite desde o inventariamento detalhado dos ativos e a programação de serviços até o controle das ações realizadas e o monitoramento contínuo da condição dos elementos da infraestrutura. A terceira fase do SIGACO — voltada à análise de informações e modelos de desempenho — é apoiada pela Kartado por meio

da disponibilização estruturada dos dados, filtrados e organizados para integração com ferramentas de Business Intelligence, como o Power BI.



Figura 4 – Fluxo de integração entre campo e escritório utilizando a plataforma Kartado.
Fonte: Adaptado da Kartado.

A 4 ilustra o fluxo de integração entre campo e escritório proporcionado pela plataforma Kartado, evidenciando as principais etapas do processo de gestão de serviços operacionais. Inicialmente, os serviços são abertos por equipes em campo por meio do aplicativo móvel, com os dados sendo recebidos e programados no escritório. Em seguida, ocorre a execução das atividades e o apontamento em tempo real no sistema. A partir dessas informações, a concessionária pode emitir relatórios, acompanhar a execução e realizar análises de dados e indicadores de desempenho. Esse ciclo garante rastreabilidade, padronização e suporte à tomada de decisão, promovendo maior eficiência e controle sobre os processos operacionais.

3.2.2 Contexto da concessionária atendida

O estudo de caso apresentado neste trabalho foi realizado em uma concessionária federal do setor rodoviário, cliente da Kartado desde 2024. Por razões de confidencialidade, o nome da empresa não será citado. Atualmente, essa concessionária já atende às duas primeiras fases do SIGACO utilizando a plataforma da Kartado e encontra-se no processo de estruturação da fase 3, que envolve a organização dos dados operacionais em indicadores analíticos voltados à gestão por desempenho. O projeto apresentado neste trabalho constitui a proposta inicial dessa nova etapa.

3.2.3 Origem, natureza e organização dos dados utilizados

Os dados operacionais da concessionária utilizados no projeto são dados reais, obtidos diretamente da plataforma Kartado, que funciona como base corporativa da concessionária para gestão de seus ativos e operações. Foram utilizados registros provenientes de duas categorias principais: apontamentos de monitoração (referentes a inspeções e ve-

rificações em campo) e serviços de conservação (ações corretivas e preventivas executadas sobre os ativos).

Esses dados são armazenados em ambiente de nuvem, utilizando infraestrutura da AWS (Amazon Web Services), com acesso às tabelas realizado por meio do serviço Amazon Athena, que permite a consulta direta a arquivos estruturados via linguagem SQL. Para o desenvolvimento do *dashboard* no Power BI, foi necessário realizar a modelagem dos dados brutos, organizando-os em tabelas fato e dimensão, além da definição de medidas calculadas que representassem parâmetros relevantes de controle, como frequência de apontamentos por tipo de ativo, status de execução dos serviços e indicadores operacionais por segmento da rodovia.

A integração entre os dados operacionais e a ferramenta de BI visa proporcionar uma visão consolidada e interativa da condição atual dos ativos, permitindo identificar padrões, áreas críticas e oportunidades de melhoria para o atendimento progressivo às exigências da fase 3 do SIGACO.

3.3 ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO

O desenvolvimento da solução descrita neste trabalho foi estruturado em etapas sequenciais que combinaram levantamento de requisitos, organização e modelagem de dados, construção visual e validação com os usuários.

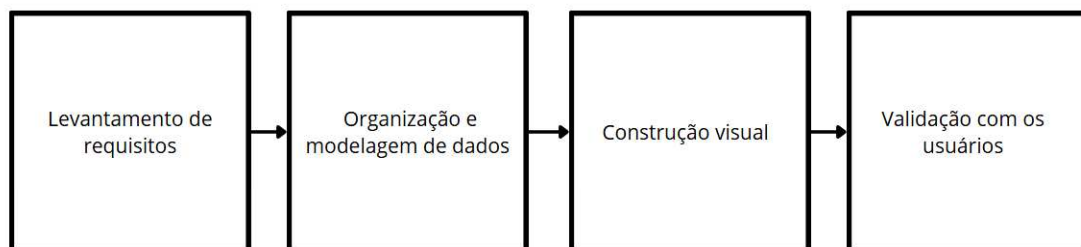


Figura 5 – Etapas do desenvolvimento. Fonte: Autor.

Todo o projeto foi conduzido a partir de dados operacionais da concessionária, extraídos da plataforma Kartado. Não foram utilizadas bases externas ou dados provenientes de outras fontes. Do ponto de vista técnico, todos os recursos visuais empregados na solução são componentes nativos da plataforma Power BI, publicados pela própria Microsoft, o que assegura compatibilidade, suporte e estabilidade ao longo do desenvolvimento. A identidade visual do painel, incluindo a criação dos fundos personalizados utilizados como background das páginas, foi desenvolvida com o apoio da ferramenta Figma, empregada exclusivamente na etapa de design gráfico, sem integração direta com os dados ou funcionalidades do sistema.

A seguir, descrevem-se os principais estágios que compuseram essa metodologia.

3.3.1 Levantamento de requisitos e definição de escopo

A concepção da solução teve início com a análise dos dados operacionais disponíveis na plataforma utilizada para registrar e monitorar a execução de serviços em campo. Os dados existentes compreendiam principalmente os apontamentos técnicos realizados via aplicativo, contendo informações como tipo de serviço, localização geográfica, data de execução, responsável técnico, ativo relacionado, entre outros.

Com o objetivo de alinhar a solução às necessidades reais da organização, foram conduzidas reuniões com gestores e analistas das áreas operacionais e de tecnologia. Nessas ocasiões, buscou-se compreender os processos atuais de monitoramento, os relatórios utilizados no dia a dia e as lacunas percebidas no acesso às informações. Algumas das perguntas norteadoras dessas reuniões incluíram:

- Quais são as expectativas de visualização dos dados?
- Que informações são mais difíceis de acessar?
- Quais processos dependem diretamente dos dados operacionais?
- Como deveria ser uma interface ideal para visualização e análise?

Com base nas respostas obtidas, foi realizada uma análise dos fluxos internos de informação e foram identificados os principais indicadores operacionais relevantes para os usuários, tais como:

- Volume de serviços executados por sistema de gerência e por classes;
- Frequência de apontamentos por tipo de ativo;
- datas dos apontamentos;
- Distribuição espacial dos registros;
- Indicadores vinculados à produtividade e desempenho de equipes e empresas terceiras.

A partir desse levantamento, elaborou-se um *mockup* (esboço inicial) da dashboard, simulando a disposição das informações e o fluxo de navegação pretendido. O design do protótipo considerou aspectos como:

- Organização temática por área funcional da concessionária;
- Hierarquia visual clara para destacar os indicadores principais;
- Facilidade de leitura e navegação;
- Possibilidade de detalhamento por meio de filtros interativos;
- Alinhamento com os requisitos informacionais previstos na Fase 3 do SIGACO.

Esse protótipo serviu como base conceitual para a implementação da solução final no *Power BI*, assegurando maior aderência entre os objetivos técnicos do projeto e as necessidades práticas dos usuários finais.

3.3.2 Extração e preparação dos dados

Os dados utilizados no projeto são provenientes da plataforma Kartado, armazenados em ambiente AWS S3 e consultados via Amazon Athena com conexão ODBC ao Power BI. A extração e organização dos dados foram realizadas diretamente no Power BI, utilizando consultas SQL para construção das camadas lógicas de dados: *stage*, *core* e *mart*.

A organização dos dados em camadas lógicas é uma prática comum em projetos de *Business Intelligence*, com o objetivo de estruturar e facilitar o fluxo de tratamento da informação desde a origem até a camada analítica. Segundo Kimball (KIMBALL; ROSS, 2013), separar o processo em etapas como *stage*, *core* e *mart* favorece a rastreabilidade, manutenção e confiabilidade dos dados. Essa segmentação permite isolar transformações, aplicar regras de negócio de forma organizada e disponibilizar os dados de maneira otimizada para visualizações e análises.

Os dados brutos já estavam em estado consistente e em forma de tabelas, o que dispensou processos complexos de limpeza. Existiam alguns dados inconsistentes que tiveram que ser tratados pois a concessionária entende que são erros de preenchimento no sistema que devem ser corrigidos.

Foi necessário separar logicamente os registros de apontamentos de monitoramento e conservação. Além disso, uma tabela auxiliar foi criada dentro do Power BI para mapear os sistemas de gerência com base nas classes dos apontamentos. Parte do trabalho envolveu decidir quais atributos deveriam ser mantidos nas consultas para enriquecer a análise e definir a granularidade da tabela de programação.

As consultas foram organizadas em três camadas lógicas, conforme boas práticas de projetos de dados. A camada *stage* recebe os dados diretamente da fonte, espelhando as tabelas brutas extraídas do Athena. Na *core*, são aplicados os tratamentos necessários, como junções, filtrações e padronizações. Por fim, a *mart* consolida os dados prontos para uso analítico, com medidas calculadas e estrutura adequada ao consumo no relatório. A Figura 6 ilustra essa organização.

3.3.3 Modelagem dimensional dos dados

A modelagem dos dados foi baseada na estrutura em estrela, separando tabelas fato e dimensão conforme a variabilidade e o papel de cada tipo de dado. Foram consideradas tabelas fato aquelas que representavam registros mutáveis e com crescimento contínuo, como os apontamentos de serviços. Já as informações estáticas ou classificatórias, como tipos de ativo, localização ou equipe responsável, foram organizadas como dimensões.

A modelagem foi definida progressivamente entre as camadas *core* e *mart*, sendo que na *mart* os dados já estavam preparados para consumo no Power BI. Um desafio importante identificado foi a coexistência de dois modelos mentais distintos: o da ANTT, que segmenta



Figura 6 – Organização das consultas por camadas no Power BI. Fonte: Autor.

os ativos por sistemas de gerência (como SGP, SGS, etc.), e o da concessionária, que organiza suas operações por classes de ativos/serviços. Isso exigiu cuidados especiais na estruturação dos relacionamentos e na criação de filtros e visões adaptáveis aos diferentes perfis de usuário.

A definição dos relacionamentos entre as tabelas do modelo é realizada por meio de chaves primárias e estrangeiras. A cardinalidade predominante é do tipo um-para-muitos ($1:N$), em que uma tabela dimensão, com uma chave primária exclusiva, se relaciona a múltiplos registros em uma tabela fato. Esse padrão é utilizado, por exemplo, na associação entre a *dim_sistemas_gerencia* e a *fct_apontamentos*, em que cada classe de sistema de gerência representa um tipo específico de ativo e está vinculada a diversos apontamentos operacionais. Esse modelo favorece a consistência dos dados e a eficiência nas consultas analíticas.

A Figura 7 exemplifica parte da estrutura dimensional aplicada ao projeto, evidenciando a organização em estrela adotada na camada *mart*. A imagem destaca a tabela fato de apontamentos (*fct_apontamento*) e suas principais tabelas dimensão associadas, como equipe, status, rodovia, datas e inventário.

É importante destacar que esta é apenas uma amostra da modelagem completa, contendo uma das tabelas fato utilizadas no projeto. Há também outra tabela fato, não

colunas, além de indicadores resumidos em formato de cartões.

O modelo de leitura em “Z” é amplamente adotado em painéis informacionais e significa que os elementos de maior destaque são posicionados nos cantos superiores e os complementares se distribuem ao longo do corpo da página.

Para aprimorar a experiência visual, foi desenvolvido um background personalizado no Figma (FIGMA, 2024), utilizando cores institucionais da concessionária e sinalizando por contraste os diferentes blocos de informação. A interface foi projetada para ser responsiva e intuitiva, considerando os diferentes perfis de usuários.

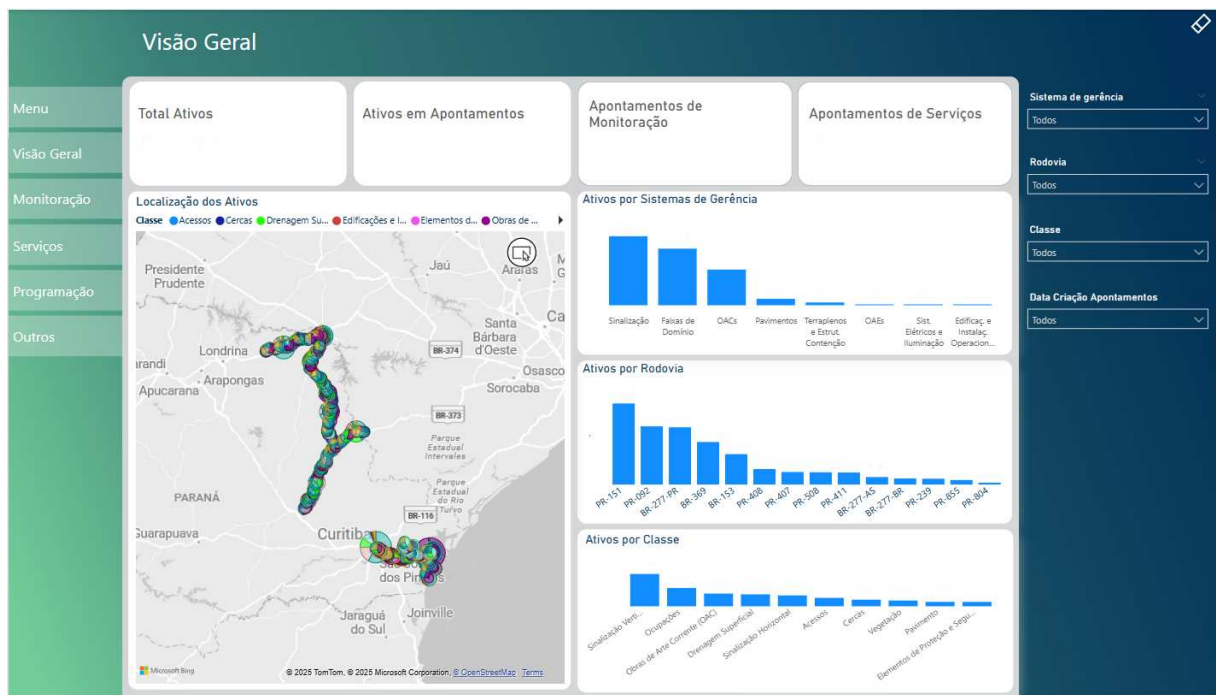


Figura 8 – Página de visão geral. Fonte: Autor.

A Figura 8 ilustra uma das páginas da solução desenvolvida, com uma visão consolidada da localização dos ativos e quantitativos de apontamentos. Essa tela exemplifica a aplicação dos princípios de layout adotados, bem como os recursos visuais e interativos implementados no Power BI.

3.3.5 Validação da solução

A solução foi validada de forma iterativa ao longo do seu desenvolvimento, em um processo colaborativo entre a equipe da Kartado e representantes da concessionária. Reuniões periódicas foram realizadas para apresentação das versões parciais do *dashboard*, coleta de feedback e revisão de requisitos.

A interlocução principal se deu com dois profissionais da concessionária responsáveis pela gestão da implantação do SIGACO, além de um profissional da Kartado especializado em relacionamento com cliente (*Customer Success*). Os ajustes realizados incluíram refinamento de filtros, revisão de KPIs e reorganização de elementos visuais. Como o órgão

regulador ainda não definiu com precisão suas exigências para atendimento à fase 3 do SIGACO, a solução continua em evolução, funcionando como um produto inicial passível de aprimoramento conforme novas diretrizes forem estabelecidas.

4 DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO

Este capítulo apresenta os resultados obtidos durante o processo de estruturação e a construção visual e funcional da solução desenvolvida. São descritas as principais páginas que compõem o painel, os recursos de navegação e interatividade, a organização dos elementos visuais e as escolhas de design aplicadas. O objetivo é evidenciar como a interface contribui para a experiência do usuário e para a efetividade das análises realizadas.

4.1 RESULTADOS DAS ETAPAS DE CONSTRUÇÃO

O desenvolvimento da solução analítica exigiu o cumprimento de diversas etapas, cujos resultados concretos estão descritos ao longo do Capítulo 3. Abaixo, destacam-se as principais entregas realizadas:

- **Levantamento de requisitos:** Realização de reuniões com a equipe técnica da concessionária para entender os fluxos operacionais e identificar quais dados, indicadores e visões deveriam compor o painel analítico.
- **Extração e preparação dos dados:** Estruturação do pipeline analítico em três camadas lógicas (Stage, Core e Mart). Como parte do processo, foi criada uma tabela auxiliar para mapear os sistemas de gerência com base nas classes dos apontamentos e ativos, garantindo compatibilidade com a lógica de segmentação exigida pelo regulador.
- **Modelagem dimensional:** Definição de um modelo em estrela, com a *fct_apontamentos* no centro da análise. O modelo foi planejado para conciliar dois paradigmas distintos: a estrutura dos sistemas de gerência da ANTT e a lógica operacional da concessionária. A modelagem foi ajustada para assegurar integridade nas relações e flexibilidade na construção de visuais adaptados a diferentes perfis de usuário.

4.2 ORGANIZAÇÃO GERAL DA INTERFACE

A solução desenvolvida é composta por seis páginas principais: *Menu*, *Visão Geral*, *Monitoração*, *Serviços*, *Programações* e *Outros*. Cada uma foi estruturada para atender a diferentes objetivos analíticos associados à gestão de ativos, respeitando a lógica de segmentação funcional da concessionária e os requisitos da fase 3 do SIGACO.

A estrutura da interface foi projetada com base em princípios de usabilidade e organização funcional, visando facilitar a navegação, otimizar a leitura dos dados e alinhar o uso da solução às necessidades operacionais da equipe técnica da concessionária. A divisão temática das páginas favorece tanto a análise gerencial (visão macro) quanto a exploração operacional aprofundada.

A página *Menu* atua como uma introdução ao painel, apresentando um resumo dos sistemas de gerência que compõem o SIGACO e estão incorporados à *dashboard*, o menu de navegação e uma descrição do conteúdo de cada página. Nela também é exibido um indicador com a data e hora da última atualização do relatório, permitindo ao usuário avaliar a atualidade dos dados exibidos. A Figura 9 apresenta essa interface.

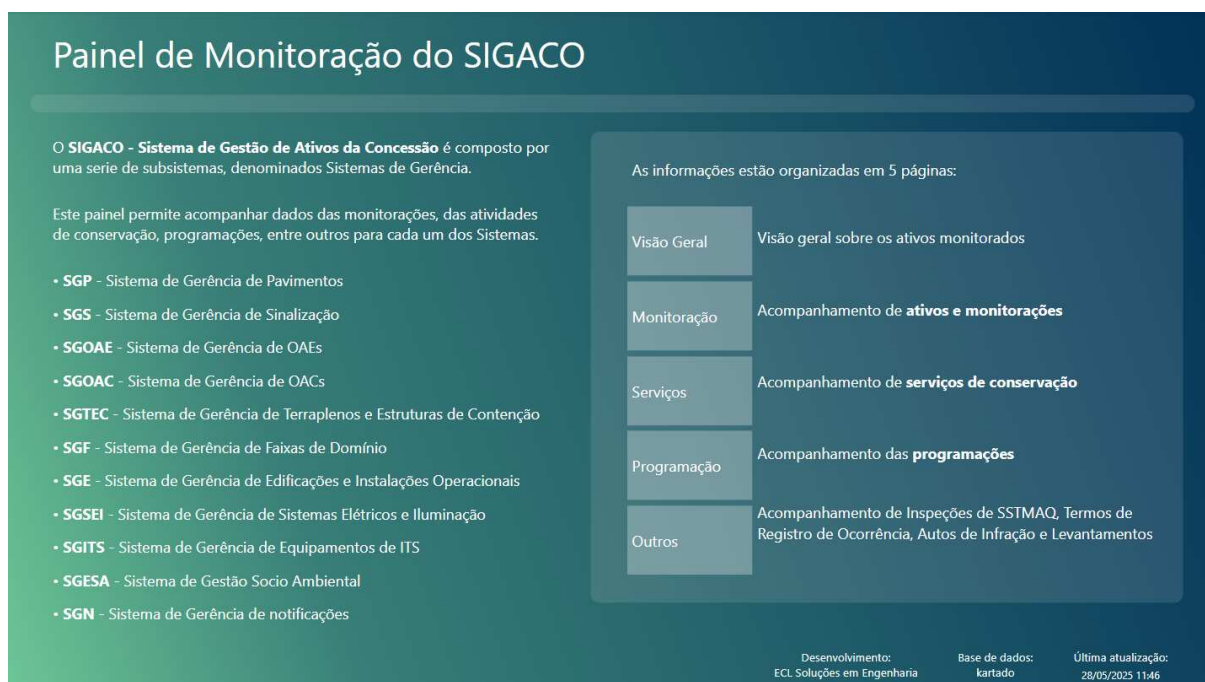


Figura 9 – Página inicial do *dashboard* - Menu. Fonte: Autor.

A navegação entre as páginas principais é feita por meio de um menu lateral fixo, presente em todas as telas, garantindo consistência visual e facilitando o acesso direto às diferentes seções do painel. Esse recurso reduz o tempo de localização das informações e evita rupturas na experiência do usuário, especialmente para profissionais da área técnica que necessitam de rapidez na obtenção de respostas.

As páginas de *Visão Geral*, *Monitoração*, *Serviços* e *Programações* concentram os dados principais, organizados de forma temática. Já a seção *Outros* agrega acompanhamentos diversos que não se enquadram nas demais. Além das páginas principais, foram implementadas duas páginas de detalhe — uma para ativos e outra para apontamentos — acessadas por meio de interações do tipo *drill-through*, permitindo análises aprofundadas sem sair do fluxo principal. As duas páginas de detalhe serão explicadas adiante.

Do ponto de vista visual, todas as páginas compartilham uma identidade gráfica padronizada, construída com base no modelo de leitura em “Z”. Essa padronização entre as páginas — com filtros laterais, blocos centrais de informação e mapas interativos destacados — contribui para uma curva de aprendizado suave e previsibilidade no uso da ferramenta.

Como solicitado pela concessionária, a localização geográfica dos ativos e serviços é um elemento central em todas as páginas, sendo priorizada por meio de mapas interativos.

Essa escolha foi reforçada durante a fase de validação da solução, quando os usuários finais destacaram a importância da representação espacial na análise e tomada de decisão. Assim, os mapas foram posicionados de forma estratégica e visualmente destacada, servindo como eixo de orientação para as análises.

Por fim, o design visual da solução foi complementado com o uso de fundos personalizados desenvolvidos no Figma, com base na identidade institucional da concessionária e priorizando o contraste e a legibilidade das informações. A estética funcional da interface — ou seja, o uso do design a serviço da clareza — guiou todas as decisões de apresentação.

4.2.1 Design visual no Figma

Para garantir padronização visual e alinhamento com a identidade institucional da concessionária, o design dos fundos e da estrutura visual do painel foi desenvolvido na ferramenta Figma. Essa etapa antecedeu a construção final no Power BI e permitiu organizar previamente a disposição dos elementos visuais e funcionais.

A principal diretriz aplicada no design foi a separação clara entre os dados (gráficos, mapas, indicadores) e os demais componentes de navegação e estrutura — como filtros, títulos de página e botões de troca de tela. Essa separação visa facilitar a leitura e orientar o olhar do usuário, promovendo foco e reduzindo a sobrecarga cognitiva durante a análise.

O layout foi desenvolvido com base em boas práticas de UX/UI e adaptado às necessidades operacionais da equipe técnica. A Figura 10 apresenta um exemplo de página base criada no Figma, que serviu de referência para a construção das páginas finais do painel no Power BI.

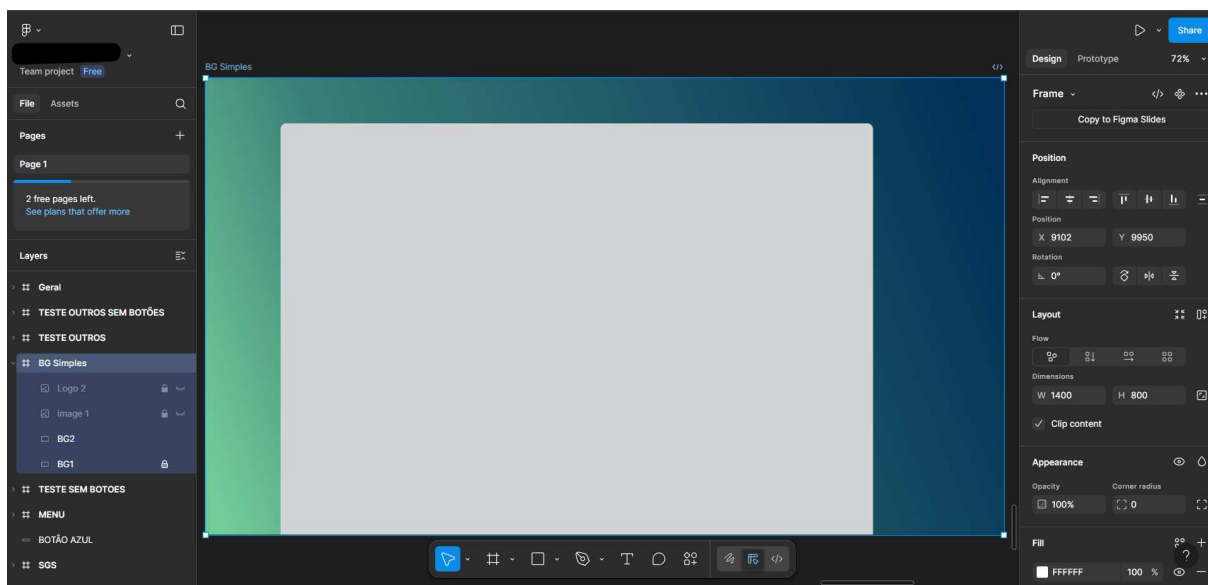


Figura 10 – Interface de desenvolvimento no Figma. Fonte: Autor.

Os *backgrounds* foram exportados como imagens no formato .PNG e aplicados diretamente nas páginas do Power BI, funcionando como camada visual estática sobre a

qual os elementos analíticos foram posicionados.

4.3 APRESENTAÇÃO DAS PÁGINAS DO *DASHBOARD*

4.3.1 Visão Geral

A página *Visão Geral* apresenta um panorama inicial dos ativos e apontamentos registrados na plataforma Kartado para a concessionária analisada. Seu objetivo é oferecer uma visão consolidada e interativa dos principais dados operacionais, permitindo que os usuários tenham um entendimento rápido sobre a abrangência e a distribuição dos registros cadastrados.

Os indicadores-chave exibidos no topo da página incluem o total de ativos inventariados, o número total de serviços realizados, a quantidade de apontamentos de monitoração e de serviços. Esses valores são obtidos por meio de expressões DAX, garantindo cálculos dinâmicos com base nas segmentações aplicadas.

Entre os visuais presentes, destacam-se gráficos de barras que evidenciam a distribuição dos dados por sistema de gerência, por rodovia e por classe de apontamento — os três principais eixos de segmentação dos dados conforme a lógica operacional da concessionária. O mapa interativo, por sua vez, reforça a localização geográfica dos ativos e dos apontamentos, mantendo o foco espacial como elemento central da análise.

A página conta ainda com filtros que permitem segmentar a visualização por rodovia, sistema de gerência e classe de apontamento. Todos os gráficos são interconectados: ao selecionar um elemento em qualquer visual, os demais se ajustam automaticamente, favorecendo uma análise cruzada. Essa funcionalidade oferece ao usuário não apenas uma leitura estática dos dados, mas também a possibilidade de investigação exploratória a partir de critérios contextuais.

A Figura 8, já apresentada anteriormente na Seção 3.3.4, exemplifica a organização visual e funcional dessa página.

Configuração do mapa interativo

A representação espacial dos ativos e apontamentos foi realizada por meio do visual de mapa nativo do Power BI, publicado pela Microsoft. Esse recurso permite a georreferenciação automática de elementos com base em campos de latitude e longitude extraídos diretamente da base operacional da plataforma Kartado. As coordenadas são os únicos dados estritamente necessários para a criação dos mapas. Elas foram tratadas previamente no modelo de dados, garantindo que cada ativo fosse corretamente posicionado com alta precisão.

A Figura 11 apresenta a interface de configuração do visual no Power BI. Como pode ser observado, o campo *Classe* foi utilizado como legenda, de modo a diferenciar visualmente os tipos de ativos — critério solicitado pela concessionária para facilitar

a interpretação dos dados geográficos em reuniões técnicas. O tamanho das bolhas foi definido com base na quantidade de apontamentos associados a cada ativo, permitindo a identificação rápida de concentrações anormais ou potenciais gargalos operacionais.

As dicas de ferramenta (*tooltips*), exibidas ao passar o cursor sobre cada ponto, foram configuradas para apresentar informações adicionais sobre o ativo, como rodovia, identificação, classe, quilômetro inicial e final. Essa estratégia visa enriquecer a análise exploratória sem comprometer a clareza visual do painel.

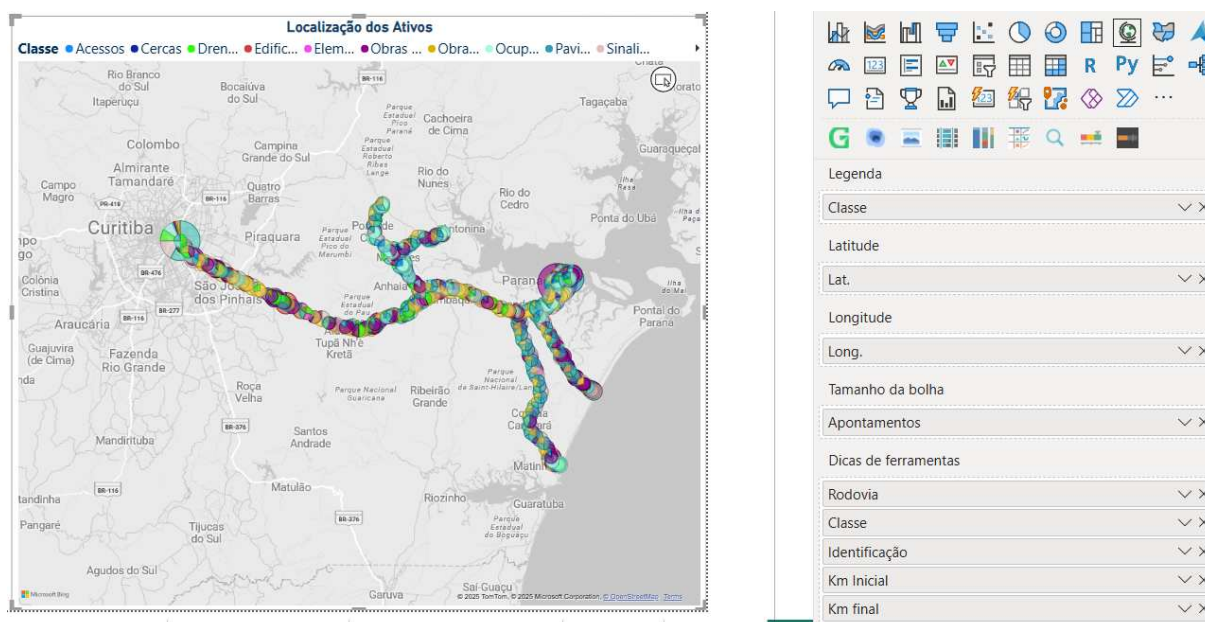


Figura 11 – Configuração do visual de mapa interativo no Power BI. Fonte: Autor.

Esta configuração foi utilizada em todos os mapas do *dashboard* e ganha ainda mais valor quando apoiada pelos filtros existentes em cada uma das páginas.

4.3.2 Monitoração

A página *Monitoração* foi desenvolvida para permitir a análise integrada dos ativos e seus respectivos apontamentos de monitoração. Ela combina dados de inventário (ativos) com registros de inspeções realizadas, oferecendo aos usuários uma visão detalhada da distribuição e frequência dos apontamentos ao longo da concessão.

O foco principal desta interface é a exploração dos dados por meio de filtros interativos, que permitem ao usuário refinar a análise conforme necessidades específicas. Os indicadores numéricos, representados por cartões, mostram inicialmente a quantidade total de ativos monitorados e o número de apontamentos registrados, sendo especialmente úteis quando associados a filtros contextuais.

Entre os visuais presentes, destaca-se o mapa com a localização dos ativos e uma tabela que exibe os inventários e a quantidade de apontamentos associados a cada um deles. Essa tabela está ordenada de forma decrescente, priorizando os ativos com maior

número de registros. A interatividade é ampliada por meio de um botão em formato de lupa, localizado no canto inferior direito da tabela, que permite o acesso à página de detalhe dos ativos selecionados.

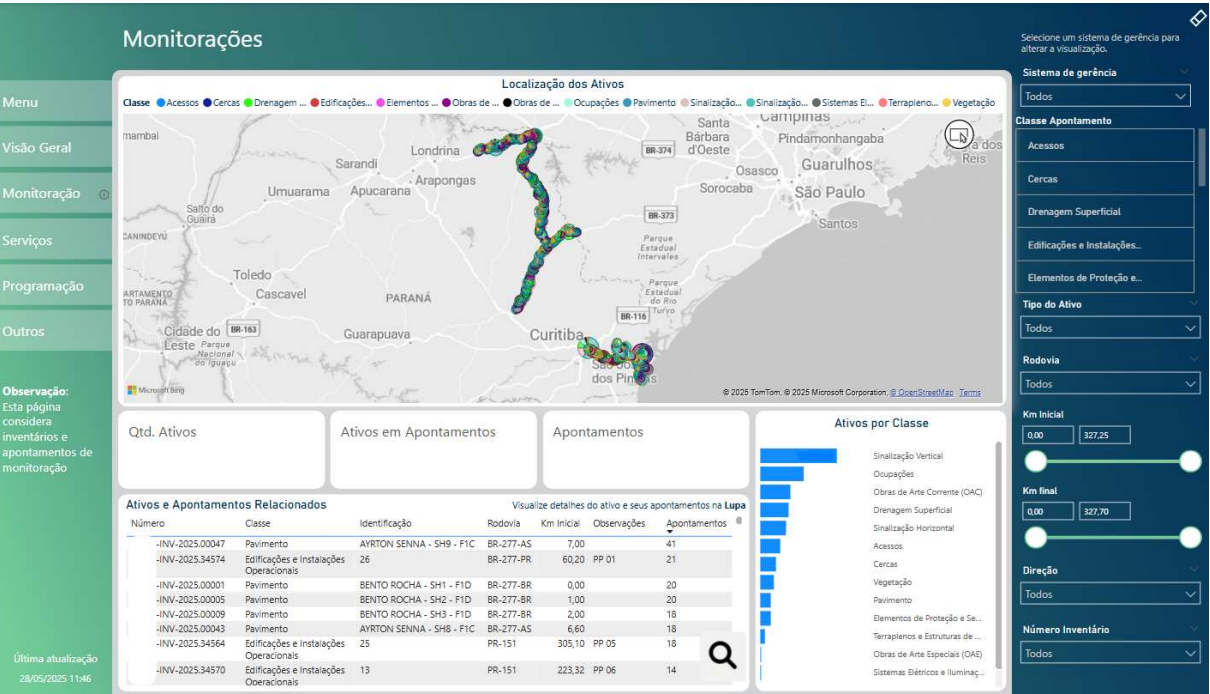


Figura 12 – Página de monitoração. Fonte: Autor.

A Figura 12 ilustra a organização visual desta página. Além dos filtros já utilizados na visão geral (rodovia, sistema de gerência e classe de apontamento), esta página incorpora segmentações adicionais: tipo de ativo (classificação própria da concessionária), quilometragem inicial e final, direção da via (norte, sul, leste, oeste) e número do inventário. A distribuição dos ativos por classe também é representada em gráfico de barras, refletindo as escolhas aplicadas nos filtros.

4.3.2.1 Detalhe dos ativos

A página de detalhe dos ativos é acessada por meio de *drill-through* a partir da página de Monitoração. Seu objetivo é apresentar, de forma consolidada, as informações de um ativo específico e seus apontamentos de monitoração.

A interface exibe o número do ativo, a quantidade total de apontamentos relacionados, um gráfico com a distribuição temporal dos registros e sua localização em mapa. Abaixo, são apresentadas informações gerais do ativo, seus atributos técnicos e uma lista dos apontamentos associados. Nesta última, cada linha conta com um link que direciona diretamente ao sistema Kartado, permitindo acesso completo ao conteúdo do apontamento.



Figura 13 – Página de detalhe dos ativos. Fonte: Autor.

4.3.3 Serviços

A página *Serviços* apresenta exclusivamente os apontamentos de conservação registrados na plataforma, com foco nas atividades realizadas sobre os ativos por equipes internas e terceirizadas da concessionária. Diferentemente das demais páginas, o objetivo aqui não é analisar os ativos em si, mas compreender a execução dos serviços realizados — como manutenções, correções e reparos — e a atuação das equipes envolvidas.

Os indicadores iniciais da página incluem o total de apontamentos considerados, a distribuição por status (executado, fabricado, programado, identificado) e por origem (interna ou externa). Considerando que empresas contratadas também utilizam a plataforma Kartado, visuais adicionais permitem monitorar a contribuição de diferentes equipes e empresas executoras.

Os visuais da página foram estruturados para apoiar a análise de desempenho das equipes e a identificação de padrões recorrentes nas atividades de conservação. Destaque é dado à matriz de calor na parte inferior, que organiza a quantidade de apontamentos por rodovia e quilômetro, permitindo identificar trechos críticos por volume de serviços executados. Células com maiores volumes ganham destaque visual por meio de gradação de cores, facilitando a percepção de concentração. O uso dos filtros, especialmente os de sistema de gerência ou de natureza dos apontamentos, é essencial para extrair insights significativos da análise e direcionar ações operacionais com base nos dados.

Além disso, o usuário pode interagir com a matriz para acessar, via *drill-through*, a página de detalhes dos apontamentos. A Figura 14 ilustra a organização visual desta página.

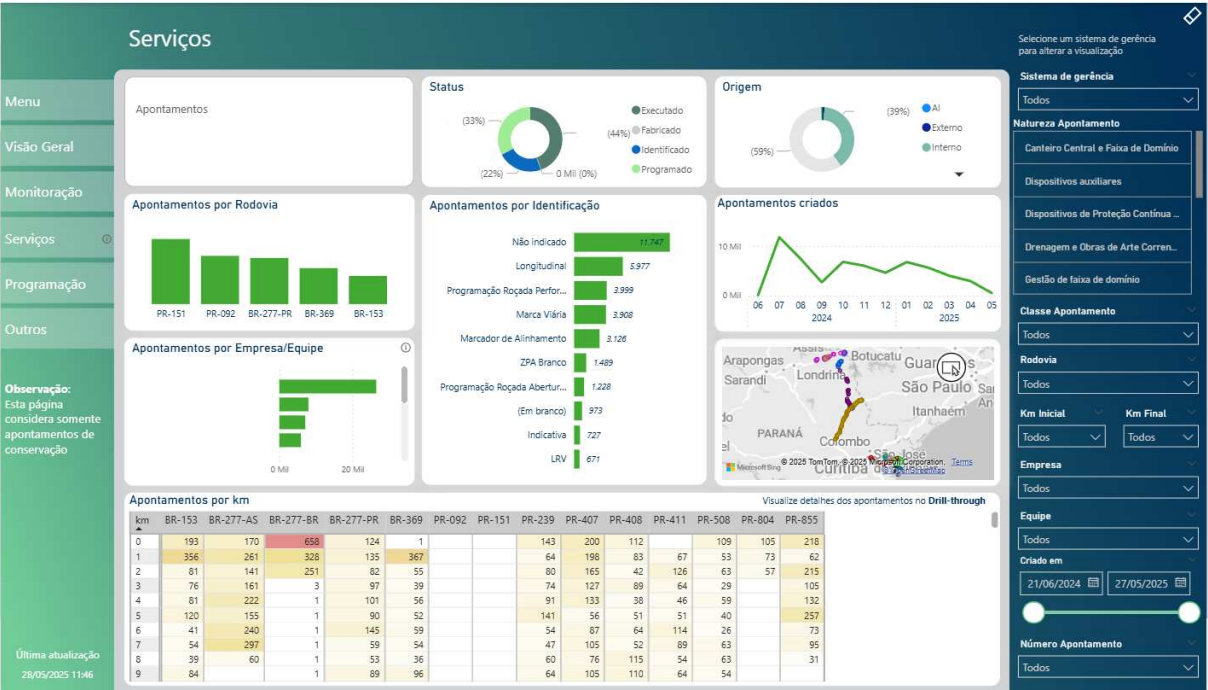


Figura 14 – Página de serviços. Fonte: Autor.

Embora não detalhada individualmente, a página intitulada *Outros* adota a mesma estrutura visual da seção de Serviços. Sua diferença está no tipo de dados apresentados, que contemplam categorias específicas como apontamentos de SSTMAQ, autos de infração, termos de ocorrência e levantamentos. Essa separação visa facilitar o acompanhamento de registros operacionais não diretamente ligados às rotinas de conservação.

4.3.3.1 Detalhe dos apontamentos

A página de detalhe dos apontamentos é acessada exclusivamente por meio de *drill-through* a partir da matriz da página de Serviços, ao selecionar um trecho específico da rodovia. Seu objetivo é permitir uma análise detalhada dos apontamentos de conservação registrados naquele segmento.

A interface apresenta, no topo, indicadores com a quantidade de apontamentos, a distribuição por status, a evolução por data de criação e a atuação das empresas e equipes. Um mapa localizado indica a posição dos registros.

O foco principal da página é a tabela de apontamentos, que reúne os campos de identificação, data, status, equipe executora, empresa e observações registradas. Cada linha inclui um link direto para o sistema Kartado, possibilitando a consulta completa do apontamento. A Figura 15 apresenta a composição da tela.

4.3.4 Programações

A página *Programações* tem como objetivo monitorar a execução dos serviços programados pela concessionária. Cada programação representa um conjunto de apontamentos

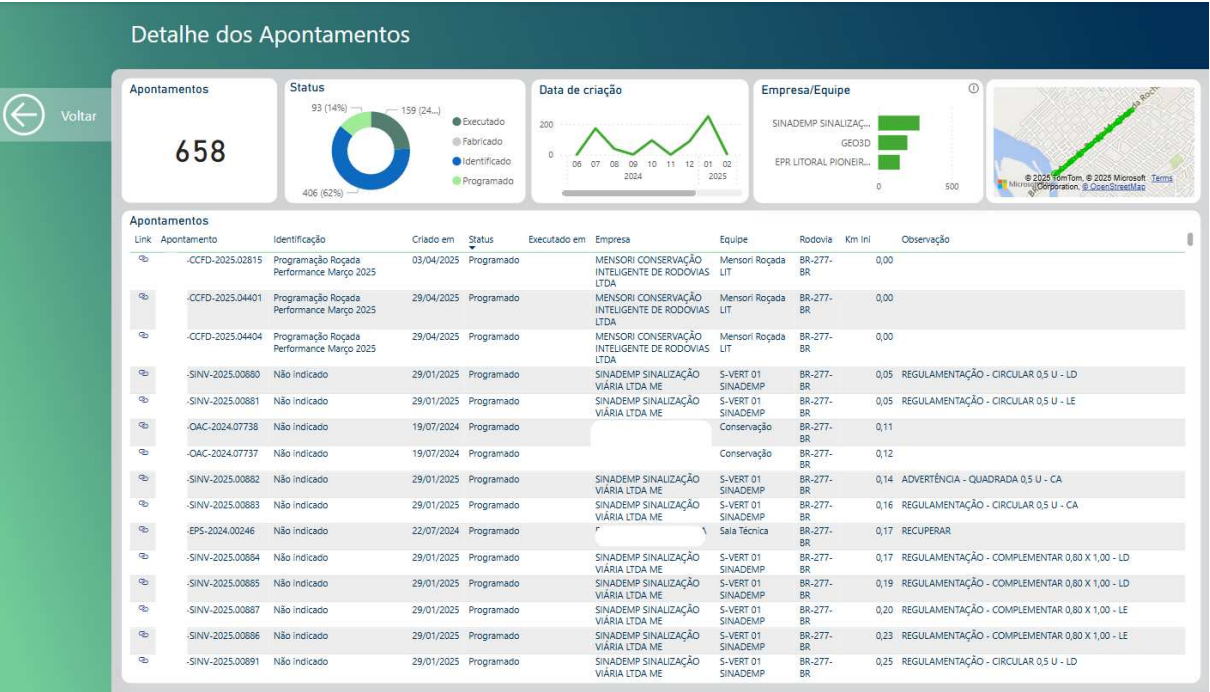


Figura 15 – Página de detalhe dos apontamentos. Fonte: Autor.

de conservação agrupados por critérios operacionais. A execução desses apontamentos é acompanhada ao longo do tempo, sendo o cumprimento de prazo um dos principais indicadores analisados.

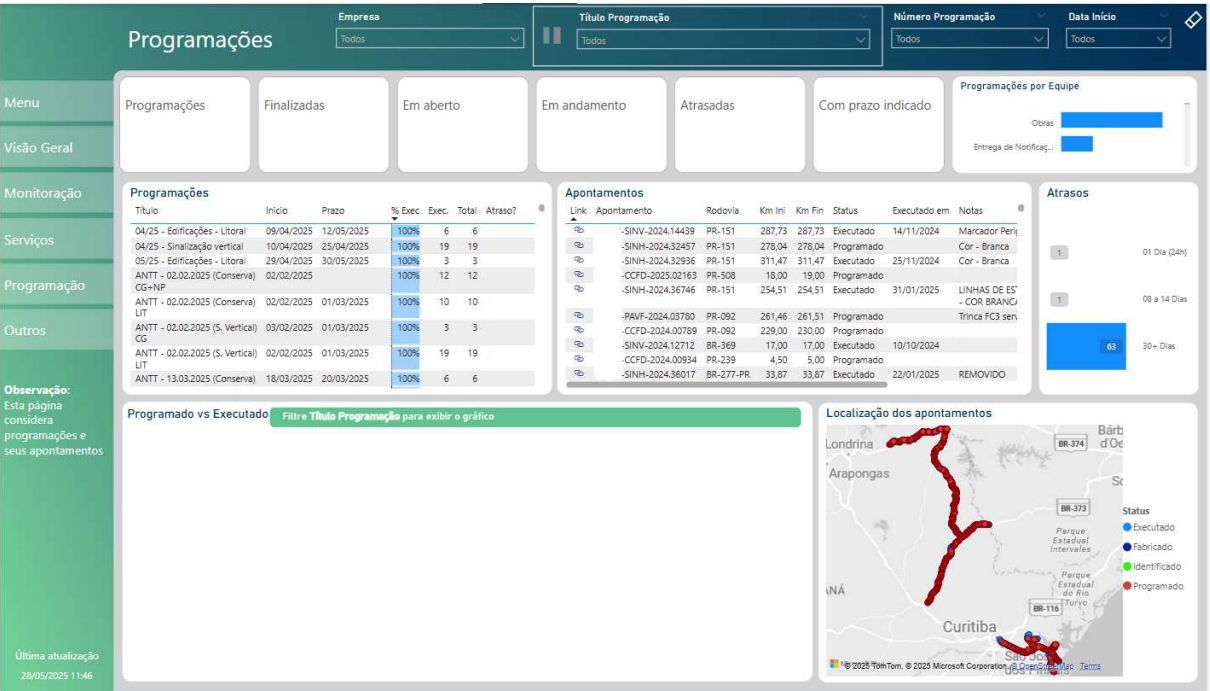


Figura 16 – Página de programações – visão geral. Fonte: Autor.

No topo da página, cartões informativos apresentam o total de programações registradas, segmentadas em categorias como finalizadas, em aberto, em andamento, atrasadas e com prazo definido. Abaixo, duas tabelas listam as programações e os apontamentos

associados, permitindo que o usuário visualize títulos, datas de início e fim, percentual de execução, status e atrasos. Também estão disponíveis gráficos com a distribuição de programações por equipe e um painel de atrasos por faixa de dias, além de um mapa com a localização dos apontamentos incluídos nas programações.

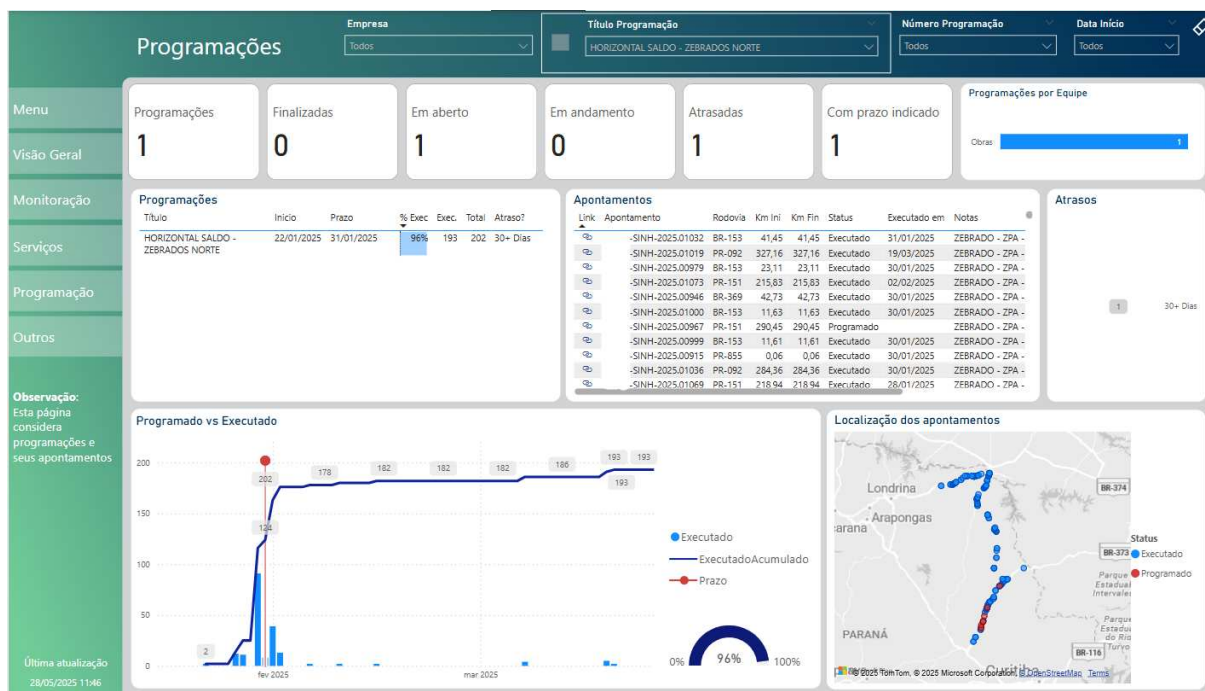


Figura 17 – Página de programações – visão detalhada. Fonte: Autor.

O destaque da interface é o gráfico *Programado vs Executado*, que é ativado ao selecionar uma programação específica, seja por meio da tabela ou de um filtro. Ele compara a execução diária dos apontamentos ao longo do tempo, exibindo o total acumulado executado e o prazo-limite da programação. Como complemento, um indicador circular exibe o percentual de conclusão, oferecendo uma visão clara do progresso.

4.3.4.1 Modelagem da tabela de programações

A base operacional da plataforma Kartado não possui uma tabela consolidada de programações. As informações referentes a serviços planejados estão contidas em apontamentos específicos, presentes em uma tabela auxiliar da base de dados. Para possibilitar a análise adequada das programações no painel, foi necessário criar uma estrutura separada — a tabela *fct_programações* — diretamente no Power BI, utilizando transformações no *Power Query* com base nessas tabelas auxiliares.

A *fct_programações* foi construída a partir da filtragem e reorganização de apontamentos que continham atributos característicos de programações, como prazo, total de apontamentos vinculados, equipe responsável e porcentagem de conclusão. No entanto, como esses mesmos apontamentos também estão presentes na *fct_apontamento*, não há

uma correspondência direta e completa entre as duas tabelas que permita relacioná-las com segurança.

Embora o modelo não gere duplicidade automaticamente, o uso conjunto de medidas extraídas de ambas as tabelas em um mesmo visual pode levar a interpretações incorretas, já que um mesmo apontamento pode estar representado nas duas fontes. Por esse motivo, optou-se por tratar as duas tabelas de forma isolada, utilizando filtros e visuais independentes para a análise de dados de programação.

Essa abordagem garante a confiabilidade das informações apresentadas no painel e não compromete as análises, uma vez que foi possível contornar a limitação estrutural da base sem prejuízo aos indicadores. Vale ressaltar que essa solução reflete uma decisão de modelagem adotada em função do objetivo analítico do projeto e das particularidades do banco de dados disponível, e não se trata de uma falha ou inconsistência da fonte original. A solução adotada evidencia a flexibilidade da modelagem em BI e a capacidade de adaptação diante de estruturas operacionais não otimizadas.

4.3.4.2 Indicador acumulado de execução

Um dos *principais visuais da página de Programações* é o gráfico que compara a execução real com o volume planejado de serviços, ao longo do tempo. Para que esse acompanhamento seja feito corretamente, foi necessário calcular o valor acumulado das execuções, respeitando o intervalo de tempo e os filtros aplicados.

Esse cálculo foi implementado por meio da linguagem DAX, utilizando variáveis e lógica condicional para garantir precisão na construção do histórico. A medida *ExecutadoAcumulado*, apresentada a seguir, foi utilizada para esse fim:

```
ExecutadoAcumulado =  
VAR  
    UltimaDataExecutado =  
    MAXX(ALL(fct_programacao), fct_programacao[dt_executado_em])  
  
RETURN  
    IF(  
        MAX('dim_prazo_executado'[Date]) > UltimaDataExecutado,  
        BLANK(),  
  
        CALCULATE(  
            [Executado],  
            FILTER(  
                ALL('dim_prazo_executado'),  
                'dim_prazo_executado'[Date]
```

```
        <= MAX('dim_prazo_executado' [Date]))
    )
)
)
```

A lógica da medida considera a última data registrada de execução e calcula, a partir disso, um somatório acumulado até a data máxima filtrada no eixo do gráfico. Caso o usuário selecione uma data posterior à última execução conhecida, a medida retorna *BLANK()*, evitando a exibição de valores inconsistentes. Esse comportamento é especialmente relevante para não induzir interpretações equivocadas em reuniões operacionais.

Assim como essa, outras medidas DAX foram utilizadas em diferentes partes do painel — algumas mais simples, como contagens ou somatórios diretos, e outras mais complexas, envolvendo manipulação de contexto, filtros cruzados e funções temporais. Todas elas contribuem para transformar os dados brutos em indicadores analíticos contextualizados, enriquecendo a solução e elevando seu valor decisório.

5 ANÁLISE DA SOLUÇÃO E PERSPECTIVAS DE EVOLUÇÃO

Este capítulo discute os resultados alcançados com a implementação da solução, analisando aspectos técnicos, visuais e funcionais. São apontados os principais benefícios observados, limitações identificadas e possibilidades de aprimoramento. Também são apresentadas as perspectivas de continuidade do projeto e os desdobramentos esperados para futuras fases da parceria entre a concessionária e a equipe de desenvolvimento.

5.1 INTEGRAÇÃO E INTERATIVIDADE DOS DADOS

A solução desenvolvida apresenta uma integração sólida entre estrutura de dados, modelagem e experiência do usuário. A lógica de navegação é consistente e fluida, favorecida por um projeto visual que prioriza clareza, hierarquia da informação e padronização estética. O *layout*, pensado com base em princípios de UX/UI, proporciona uma experiência de uso intuitiva e agradável, com identidade visual coesa em todas as páginas. Esse cuidado com o design foi validado positivamente pelos usuários durante o processo de desenvolvimento.

Do ponto de vista técnico, a organização das tabelas em camadas lógicas — *stage*, *core* e *mart* — proporcionou ganhos substanciais tanto em performance quanto em manutenibilidade. Essa segmentação favorece uma abordagem modular de atualização, facilita o rastreamento de inconsistências e contribui para um ambiente de análise mais limpo e eficiente. A adoção da modelagem em estrela também foi decisiva para garantir coerência nas relações entre tabelas fato e dimensão, assegurando flexibilidade nas segmentações e precisão nos cálculos.

A interatividade é um dos principais diferenciais da solução. O usuário pode transitar entre análises amplas e aprofundadas com poucos cliques, aplicando filtros e acessando níveis crescentes de granularidade. Essa característica atende ao duplo propósito do painel: servir como ferramenta estratégica para o cumprimento das exigências do SIGACO e, simultaneamente, apoiar a rotina de gestão interna da concessionária.

Os indicadores desenvolvidos contemplam tanto aspectos quantitativos quanto de geolocalização, permitindo acompanhar, por exemplo, o volume de serviços realizados em cada segmento de rodovia e sua distribuição espacial. As análises são segmentadas por sistema de gerência, classes e equipes executoras, proporcionando diferentes níveis de granularidade e alinhamento com a estrutura operacional da concessionária. Esses indicadores foram definidos com base no levantamento de requisitos realizado nas etapas iniciais do projeto, conhecimento de mercado e validados em conjunto com representantes da empresa, considerando a viabilidade técnica e o valor informacional para os usuários. Ressalta-se que, embora os painéis atuais não se baseiem diretamente em indicadores regulatórios explícitos, futuros desenvolvimentos — especialmente os voltados à análise de desempenho — deverão considerar parâmetros formais estabelecidos no PER assinado

entre a concessionária e a ANTT.

A arquitetura atual demonstra maturidade técnica e atende aos requisitos esperados para um sistema de suporte à decisão baseado em dados. Ainda assim, como será explorado na próxima seção, há limitações pontuais relacionadas à integração de dados e à estruturação da base que podem ser refinadas para fortalecer ainda mais a robustez e escalabilidade da solução.

5.2 LIMITAÇÕES ATUAIS E PROPOSTAS DE EVOLUÇÃO

Embora a solução desenvolvida esteja plenamente funcional e atenda aos objetivos definidos, foram identificadas algumas limitações técnicas e operacionais que, embora não comprometam o resultado final, representam oportunidades claras de melhoria.

A principal limitação está na forma como os dados de inventário são tratados. Atualmente, essas informações estão incorporadas à tabela de apontamentos, sendo extraídas por meio de filtros específicos na consulta. Essa estrutura, embora funcional, impacta negativamente a performance e dificulta a manutenção a longo prazo. Situação semelhante ocorre na construção da tabela de programações, que exige a junção de duas tabelas distintas da base: uma contendo os apontamentos e outra com os dados das programações. A complexidade desse relacionamento resulta em lentidão e aumenta o risco de inconsistência.

Outro ponto de limitação diz respeito à base temporal dos dados de monitoração. Como a concessionária realiza apenas uma inspeção anual por ativo, o sistema atualmente conta com dados de apenas um ano, o que inviabiliza análises históricas mais robustas ou a visualização de tendências ao longo do tempo. Ainda que isso não afete a estrutura geral do *dashboard*, limita a profundidade das interpretações possíveis.

Em termos de evolução, várias ações já estão em andamento. A base de dados já conta com uma nova tabela de inventário dedicada, e está em curso a migração dos visuais que atualmente dependem da tabela de apontamentos. Com o passar do tempo, o acúmulo de novas monitorações permitirá a realização de análises históricas e a construção de modelos preditivos mais precisos.

Entre as melhorias recomendadas destacam-se: revisar os campos importados da base operacional, refinar as páginas de detalhe e, principalmente, iniciar o desenvolvimento de modelos de desempenho por sistema de gerência. Esse último ponto representa uma evolução estratégica da solução, considerando que a ANTT não define com clareza como esses modelos devem ser construídos. Assim, o desenvolvimento de propostas internas pode agregar valor significativo tanto à concessionária quanto à agência reguladora.

Essas evoluções não apenas reforçam o valor da ferramenta como sistema de apoio à decisão, como também consolidam o papel do Business Intelligence na maturidade da gestão de ativos no setor rodoviário. A flexibilidade da solução permite sua adaptação a diferentes realidades operacionais, o que amplia seu potencial de reaplicação em outras

concessões reguladas.

Por fim, é importante destacar que o projeto ainda está em fase de desenvolvimento e melhoria. O autor, que iniciou o desenvolvimento ainda como estagiário prestando serviços para a Kartado, atualmente faz parte da própria equipe da empresa, que segue em parceria com a concessionária até a implantação definitiva da fase 3 do SIGACO. A continuidade do projeto inclui, neste momento, a construção dos primeiros modelos de desempenho aplicados ao Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP).

5.3 SÍNTESE DOS RESULTADOS E CONTRIBUIÇÕES

A solução apresentada demonstrou ser eficaz na transformação de dados operacionais brutos em indicadores estratégicos relevantes para a tomada de decisão. A estrutura de dados em camadas, combinada com o uso avançado da linguagem DAX, permitiu a criação de visuais interativos capazes de refletir a complexidade das operações da concessão rodoviária e os requisitos do SIGACO.

Mesmo diante da ausência de diretrizes normativas detalhadas para a fase 3 do SIGACO, o trabalho foi capaz de propor e implementar uma abordagem coerente e funcional, validada com os usuários finais e alinhada com a exigência de desenvolvimento de um sistema operacional e gerencial dos ativos da concessionária com a subdivisão em sistemas de gerência determinada pela ANTT. A modelagem proposta, aliada ao cuidado com a interface e à validação com usuários, resultou em uma ferramenta analítica aplicável tanto em contextos operacionais quanto regulatórios.

Além de atender às demandas específicas da concessionária, a solução contribui com um modelo replicável de implantação de BI em concessões rodoviárias. Os conceitos, técnicas e decisões documentadas neste TCC podem servir de referência para outras empresas que enfrentem desafios semelhantes, fortalecendo a capacidade analítica do setor.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo desenvolver uma solução de *Business Intelligence* capaz de apoiar a gestão de ativos rodoviários no contexto da Fase 3 do SIGACO, atendendo às demandas internas de uma concessionária e antecipando requisitos regulatórios da ANTT. Para isso, foram utilizadas tecnologias amplamente adotadas no mercado, como Power BI e Amazon Athena, combinadas a princípios de usabilidade, modelagem dimensional e boas práticas em visualização de dados.

A solução proposta foi implementada com base em dados reais disponibilizados pela concessionária por meio da plataforma Kartado, organizados em camadas lógicas e modelados em um esquema estrela. O painel desenvolvido proporciona análises segmentadas por sistema de gerência, classes de ativos, equipes e localização geográfica, promovendo uma visualização clara, interativa e estratégica das operações. Sua aplicação prática já se mostrou útil no cotidiano da equipe gestora, permitindo maior controle e entendimento dos apontamentos operacionais.

Entre os principais resultados, destacam-se: a consolidação de dados dispersos em uma estrutura coerente e de fácil manutenção; a criação de indicadores adaptados à realidade da concessionária; e a implementação de uma interface que valoriza a experiência do usuário. Ainda que o painel não represente uma entrega final do SIGACO, configura-se como um avanço consistente na direção de sua implementação.

Como limitação, reconhece-se que a ausência de diretrizes técnicas detalhadas por parte da ANTT dificulta a padronização de soluções analíticas entre diferentes concessionárias. Além disso, a modelagem proposta não contempla, neste momento, os modelos de desempenho exigidos no PER, cuja implementação demanda maior maturidade técnica e contratual por parte dos envolvidos.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a ampliação dos indicadores para abarcar parâmetros de desempenho regulatório e a integração com outras bases operacionais. Também é desejável aprofundar análises preditivas com o apoio de técnicas de ciência de dados, além de explorar a replicação da solução para outras concessionárias.

Por fim, destaca-se que todas as etapas do projeto observaram os princípios da ???. Os dados utilizados foram anonimizados, tratados exclusivamente para fins analíticos e acessados com autorização expressa da empresa envolvida, resguardando a privacidade e a confidencialidade das informações. Esse cuidado reforça o compromisso ético do trabalho com a responsabilidade no uso de dados sensíveis e a aderência às normas legais vigentes.

REFERÊNCIAS

ANTT. **Contrato de concessão – Litoral Pioneiro**. [S.l.: s.n.], 2025. <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/rodovias/concessionarias/lista-de-concessoes/litoral-pioneiro/documentos-de-gestao/contrato/contrato-assinado-301-455-vl-3.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2025.

ANTT. **Informações gerais sobre concessões rodoviárias**. [S.l.: s.n.], 2025. <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/rodovias/informacoes-gerais>. Acesso em: 12 jun. 2025.

CHEN, Hsinchun; CHIANG, Roger HL; STOREY, Veda C. Business intelligence and analytics: From big data to big impact. **MIS quarterly**, JSTOR, p. 1165–1188, 2012.

FIGMA. **Ajuda do Figma - Documentação e Recursos**. [S.l.: s.n.], 2024. Disponível em: <https://help.figma.com/hc/pt-br/categories/360002042553>.

IBM. **Business Intelligence: o que é BI?** [S.l.: s.n.], 2025. <https://www.ibm.com/br-pt/topics/business-intelligence>. Acesso em: 12 jun. 2025.

KARTADO. **Site institucional da Kartado**. [S.l.: s.n.], 2025. <https://kartado.com.br/>. Acesso em: 12 jun. 2025.

KIMBALL, R.; ROSS, M. **The Data Warehouse Toolkit: The Definitive Guide to Dimensional Modeling**. [S.l.]: Wiley, 2013. ISBN 9781118530801.

KNAFLIC, C.N. **Storytelling with Data: A Data Visualization Guide for Business Professionals**. [S.l.]: Wiley, 2015. ISBN 9781119002253.

LEITE, Leonardo de Oliveira; FELISBINO, Giselli Aparecida; REZENDE, Denis Alcides. Modelo de Business Intelligence (BI) para Apoiar o Planejamento Estratégico e as Decisões na Administração Pública Municipal. *In*: ANAIS do III CONEGOV - Conferência Sul-Americana em Ciência e Tecnologia Aplicada ao Governo Eletrônico. Curitiba: IJURIS - Instituto de Governo Eletrônico, Inteligência Jurídica e Sistemas, 2006. v. 1, p. 1–14. Trabalho apresentado na III CONEGOV.

MICROSOFT. **Documentação do Power BI**. [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/power-bi/>.

MICROSOFT. **Star schema design guidance**. [S.l.: s.n.], 2025.

<https://learn.microsoft.com/en-us/power-bi/guidance/star-schema>. Acesso em: 12 jun. 2025.

MORAIS BRITO, Artur Henrique de; BERSSANETI, Fernando Tobal; LAURINDO, Fernando José Barbin. Business Intelligence e Gestão do Conhecimento: Uma Revisão Bibliométrica e Perspectivas para o Futuro. *In*: XXX Simpósio de Engenharia de Produção: Transformação Digital e Gestão de Operações: Desafios e Tendências. Bauru, SP, Brasil: SIMPÉP, 7–9 nov. 2023. Disponível no Google Scholar.

RICHARDSON, James; SALLAM, Rita; SCHLEGEL, Kurt; KRONZ, Austin; SUN, Julian. Magic quadrant for analytics and business intelligence platforms. **Gartner ID G**, v. 386610, p. 00041–5, 2020.

SÁNCHEZ, Marco. **Data modeling: the star schema**. [S.l.: s.n.], 2020. <https://medium.com/@marcosanchezayala/data-modeling-the-star-schema-c37e7652e206>. Acesso em: 12 jun. 2025.

TURBAN, E.; SHARDA, R.; DELEN, D.; KING, D. **Business Intelligence: A Managerial Approach**. [S.l.]: Pearson, 2014. (Always learning). ISBN 9781292023526.