Relatório Técnico — Projeto Data Master

# I. Objetivo do Case

O projeto apresentado tem como objetivo demonstrar, de forma estruturada, completa e reprodutível, a aplicação dos principais pilares da Engenharia de Dados moderna, conforme exigido pelo programa de certificação **Data Master**.

A proposta foi concebida como um ambiente realista, escalável e **orientado a eventos (event-driven)** para ingestão, processamento, armazenamento, análise e visualização de dados. O cenário simula a construção de um **Data Lake modular e serverless**, suportando ingestão de grandes volumes de dados oriundos de um sistema OLTP simulado (Aurora PostgreSQL), com transformações disparadas por eventos e organizadas de acordo com o padrão **Medallion Architecture** (raw, bronze, silver, gold).

Diferente de abordagens genéricas ou baseadas em stacks pré-configuradas, este projeto foi idealizado **desde o zero**, priorizando decisões arquiteturais fundamentadas, práticas reais de mercado e capacidade de evolução. Toda a solução foi construída com foco em **baixo custo operacional**, **infraestrutura como código (IaC)**, **monitoramento e governança de ponta a ponta**, **flexibilidade para evoluções futuras** e **alinhamento com boas práticas e requisitos de compliance**.

**Justificativa e Cenário**

A inspiração para o case partiu de um cenário recorrente em projetos reais de data platform: a necessidade de absorver dados de sistemas OLTP (como PostgreSQL), processá-los com alta rastreabilidade e baixo custo, e disponibilizá-los em estruturas otimizadas para análise, enriquecimento e visualização — tudo isso com **governança, controle de falhas e custo sob vigilância**.

A arquitetura segue o padrão **Medallion** (raw → bronze → silver → gold), onde cada camada possui um papel claro na organização e tratamento dos dados, com controle centralizado via **DynamoDB** e suporte tanto a **streaming quanto batch**. A escolha por serviços **serverless** como Lambda, Glue e EMR Serverless permite balancear performance e custo, enquanto a observabilidade é garantida com **Grafana, Athena e o Cost and Usage Report (CUR)**.

**Abordagem Experimental**

Parte do projeto foi estruturada como uma **experiência técnica controlada** para comparar abordagens e validar decisões. Um exemplo disso foi a criação de um **benchmark técnico** entre diferentes formas de ingestão e escrita em Parquet (utilizando Go puro, EMR Serverless e Glue Job), com medição de desempenho, consumo de recursos e custo final.

Esse caráter experimental e iterativo fortalece a solução como um **case técnico maduro**, que não apenas funciona, mas também explora os trade-offs entre alternativas reais.

**Alinhamento com os Requisitos do Programa**

| **Requisito** | **Como foi implementado** |
| --- | --- |
| **1. Extração de Dados** | Dados extraídos de instância Aurora PostgreSQL Serverless via DMS com CDC, simulando ambiente real de produção. |
| **2. Ingestão de Dados** | Streaming (DMS → Kinesis → Firehose) e batch (.gz), ambos com controle via DynamoDB e processamento em Go (Lambda ou ECS). |
| **3. Armazenamento de Dados** | Armazenamento em S3 com particionamento por camada; uso de Parquet e Iceberg. |
| **4. Observabilidade** | Dashboards no Grafana com métricas de saúde, falhas, tentativas e custo (via CUR). |
| **5. Segurança de Dados** | Controle de acesso via IAM e Lake Formation, suporte a SSO, criptografia em repouso com KMS e auditoria via CloudTrail. |
| **6. Mascaramento de Dados** | Campos PII são detectados com uso de Comprehend e anonimizados já na Camada Bronze. |
| **7. Arquitetura de Dados** | Arquitetura em camadas (raw → bronze → silver → gold) com controle incremental via DynamoDB. |
| **8. Escalabilidade** | Serverless com auto-scaling nativo (Lambda, Glue, EMR); processamentos paralelos por tabela (Step Functions). |
| **9. Reprodutibilidade da Arquitetura** | Toda a infraestrutura é declarada via CloudFormation; execução e deploy via CLI interativa. |
| **10. Plano de Implementação e Melhorias** | Documentado em seção dedicada; melhorias técnicas mapeadas com viabilidade futura. |

# II. Arquitetura de Solução e Arquitetura Técnica

A arquitetura do projeto **Data Master** foi construída com base nos princípios de modularidade, governança e escalabilidade, utilizando **serviços serverless da AWS** organizados em camadas lógicas e stacks independentes via **CloudFormation**.

A estrutura segue o padrão **Medallion Architecture** (raw, bronze, silver, gold), com suporte tanto a **streaming quanto batch**. Cada etapa do pipeline é acionada por **eventos**, compondo uma arquitetura **event-driven** e 100% reprodutível via código.

**2.2 Arquitetura Técnica**

A seguir, está representada a **arquitetura técnica da solução**, estruturada por camadas lógicas que agrupam os serviços da AWS de acordo com sua função no pipeline. O diagrama abaixo apresenta os principais componentes utilizados, todos implementados em um modelo **serverless, automatizado e observável**:



**Database**

* **Aurora Serverless**: origem relacional dos dados simulados, com suporte a **CDC (Change Data Capture)** via DMS.
* **DynamoDB**: armazena o controle de processamento dos arquivos (raw) e controla tentativas, status e timestamps de cada etapa do pipeline.

**Storage**

* **S3 /raw**: recebe os arquivos .gz oriundos do Firehose ou do upload manual (batch).
* **S3 /bronze**: recebe os dados transformados e convertidos para Parquet.
* **S3 /silver**: camada de dados tratados com enriquecimento e controle incremental.
* **S3 /gold**: tabelas analíticas derivadas da silver, otimizadas para consumo.

**Streaming**

* **DMS Serverless**: realiza a extração contínua dos dados via CDC.
* **Kinesis Data Streams**: canal de transporte dos eventos em tempo real.
* **Kinesis Firehose**: persistência dos dados no S3, com função Lambda de transformação.

**Data Management**

* **Glue**: utilizado para criar e manter o catálogo de tabelas particionadas.
* **Lake Formation**: aplica políticas de acesso granular por banco, tabela e coluna.
* **Athena**: motor de consulta analítica sobre o Data Lake (camada gold principalmente).

**Processing**

* **Step Functions**: orquestram as etapas de ingestão e transformação em todas as camadas.
* **Lambda**: processamento leve e rápido (até ~100 mil linhas), usado principalmente na bronze.
* **ECS**: contêiner usado para processar grandes volumes em paralelo, também na bronze.
* **EMR Serverless**: responsável pelas transformações da **silver** e geração das **tabelas gold** com Spark.

**Observability**

* **Managed Grafana**: dashboards analíticos, operacionais e financeiros.
* **CloudWatch**: logs, métricas e alarmes dos serviços da AWS.
* **S3 (Logs)**: armazenamento de logs estruturados, incluindo etapas do pipeline.
* **X-Ray**: usado para rastreamento e depuração de execuções assíncronas e lambda chains.

Essa estrutura técnica permite **controle total**, **rastreabilidade**, **alta disponibilidade** e **escalabilidade automática** em todas as etapas do projeto, com forte integração entre os serviços da AWS e código personalizado desenvolvido em Go e PySpark.

**2.2 Ingestão de Dados**

**Streaming Ingestion**

A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect.

O fluxo de **streaming ingestion** tem início no **Aurora Serverless**, configurado com uma instância do **AWS DMS** para captura de alterações via **Change Data Capture (CDC)**. Esse mecanismo garante que operações de *insert*, *update* e *delete* executadas nas tabelas monitoradas sejam refletidas no pipeline com latência mínima.

Os eventos gerados pelo DMS são enviados para o **Kinesis Data Streams**, que atua como intermediário para o **Kinesis Firehose**. O Firehose, por sua vez, está configurado com uma função **Lambda transformadora**. Essa função valida a estrutura dos dados, extrai os metadados do envelope (como o nome da tabela e o tipo de operação), adiciona campos complementares no payload final (como operation) e define dinamicamente a partição de destino via PartitionKeys, com base no table\_name. Os dados transformados são então gravados pelo próprio Firehose no bucket dm-stage, sob o caminho raw/<nome\_da\_tabela>/, no formato .gz.

A criação de cada novo arquivo .gz aciona automaticamente um evento de notificação do S3. Esse evento resulta na gravação de um **registro de controle no DynamoDB**, que mantém metadados como o nome do arquivo, timestamp de criação, quantidade de tentativas, status de execução e outras informações úteis para o monitoramento e reprocessamento.

O controle armazenado no DynamoDB aciona uma **Step Function**, que determina o alvo de processamento (Lambda ou ECS) com base no volume de dados estimado. Por convenção, arquivos com até **100 mil registros** são processados por **Lambda**; acima disso, são delegados a um contêiner no **ECS**, garantindo escalabilidade e performance.

O processamento é executado em **Go puro**, com uso intensivo de concorrência para alto desempenho. Os dados são lidos em stream, descompactados, convertidos de JSON ou CSV para **Parquet**, e gravados na camada **bronze** do data lake, em estrutura de pastas compatível com Hive. Essa organização permite consultas eficientes e evolução incremental do pipeline.

**Batch Ingestion**

A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect.

O fluxo de **batch ingestion** é utilizado para processar tabelas que apresentam alto volume de inserções, mas que **não exigem ingestão em tempo real**. É o caso, por exemplo, da tabela review, que pode ser extraída periodicamente a partir da base relacional, armazenada como arquivo .gz e enviada diretamente ao bucket dm-stage.

Uma vez armazenado no S3, o arquivo dispara o mesmo mecanismo de notificação utilizado no pipeline de streaming, registrando um controle no **DynamoDB**. A partir desse ponto, **todo o fluxo de processamento é reaproveitado**: a **Step Function** é acionada, o destino de execução (Lambda ou ECS) é definido conforme o volume do arquivo, e os dados são processados por componentes escritos em **Go puro**, convertidos para **Parquet** e gravados na camada **bronze** do data lake.

Essa unificação entre os pipelines de streaming e batch garante consistência, simplicidade e baixo custo operacional, mesmo em cenários com características de ingestão bastante distintas.

**2.3 Processamento Bronze → Silver**

A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect.

O pipeline de transformação da camada **bronze para silver** é acionado por um evento programado no **EventBridge**, com frequência configurável (por exemplo, diariamente). Esse evento dispara uma **Step Function**, representada na imagem acima, que paraleliza o processamento das tabelas brewery, beer, profile e review por meio de uma estrutura de Map.

Cada uma dessas tabelas é processada por um **Job PySpark em EMR Serverless**, com suporte ao **Glue Catalog**. Os dados da camada bronze são lidos no formato **Parquet**, e enriquecidos com os campos created\_at e updated\_at, derivados do timestamp de processamento registrado no controle do DynamoDB.

Durante o processamento, todas as operações de *insert*, *update* e *delete* registradas na camada bronze são **identificadas e tratadas de forma explícita**. A implementação atual aplica inserções via append e realiza *upserts* e *soft deletes* utilizando comandos MERGE do Apache Iceberg. Esse comportamento garante consistência dos dados na camada silver, mantendo um histórico confiável e alinhado com os princípios de governança e rastreabilidade definidos no projeto.

As tabelas geradas são gravadas no formato **Iceberg** e particionadas por review\_year e review\_month, otimizadas para leitura via motores analíticos como Athena e compatíveis com consultas incrementais.

Ao final da execução paralela, a Step Function prossegue para a etapa BuildReviewFlat, que gera uma visão agregada unificada com base nas tabelas processadas anteriormente — consolidando o ciclo completo da camada silver.

**2.4 Processamento Silver → Gold**

A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect.

A transformação da camada **silver para gold** segue o mesmo padrão de orquestração da etapa anterior. Um evento agendado via **EventBridge (cron)** aciona uma **Step Function**, que itera sobre as tabelas definidas para agregação, executando um **Job PySpark em EMR Serverless** para cada uma delas. A estrutura de Map permite o processamento paralelo, com tratamento de falhas via estado Catch.

O objetivo desta etapa é gerar **tabelas otimizadas para consumo analítico**, a partir de dados refinados e já padronizados na camada silver. São aplicadas agregações, ordenações e seleções que facilitam visualizações em dashboards e exploração por ferramentas como Grafana ou Athena.

Exemplos de tabelas geradas nesta etapa:

* top\_beers\_by\_rating: média das notas por cerveja
* top\_breweries\_by\_rating: melhores cervejarias com base nas avaliações
* top\_drinkers: usuários mais ativos da base
* top\_styles\_by\_popularity: estilos com maior número de reviews
* state\_by\_review\_volume: estados com maior volume de avaliações

As tabelas gold também utilizam o formato **Iceberg** e seguem particionamento por review\_year e review\_month, garantindo alta performance em consultas com filtro temporal.

**2.5 Governança e Segurança**

* **Lake Formation** habilitado com políticas por tabela/coluna
* Auditoria via **CloudTrail**
* Acesso restrito por **IAM Roles** e usuário demo com visibilidade apenas da camada gold
* **Mascaramento automático** com AWS Comprehend (detecção PII)

**2.6 Observabilidade e Visualização**

* Stack dm-observability provisiona workspace Grafana (AWS Managed)
* Dashboards:
  + **Analíticos**: baseados em Athena sobre tabelas gold
  + **Operacionais**: monitoramento de jobs (Lambda, Step Functions, EMR)
  + **Financeiros**: consumo de recursos via CUR
* Dashboards versionados e provisionados via CLI

# III. Explicação sobre o Case Desenvolvido

O desenvolvimento do case seguiu uma abordagem iterativa e fundamentada em requisitos reais de plataformas de dados modernas. Cada decisão técnica foi guiada por critérios de **custo, governança, rastreabilidade, performance** e **facilidade de operação**, com forte ênfase na **reprodutibilidade da arquitetura** por qualquer avaliador.

**3.1 Estratégia de Design**

A primeira decisão fundamental foi a adoção de uma **arquitetura em camadas**, baseada no padrão **Medallion**. Essa escolha permitiu separar claramente as responsabilidades de ingestão, tratamento e análise, além de facilitar a rastreabilidade e controle incremental dos dados.

Para garantir flexibilidade no pipeline, a arquitetura foi desenhada para suportar **dois modos de ingestão**:

* **Streaming**, com eventos capturados em tempo real via CDC (DMS → Kinesis → Firehose)
* **Batch**, com arquivos .gz enviados manualmente ao S3

Ambos os modos compartilham o mesmo pipeline a partir do momento que o arquivo é registrado no **DynamoDB**, promovendo **consistência operacional** e **baixa duplicação de código**.

**3.2 Linguagens e Ferramentas**

A escolha por **Go** como linguagem principal na camada de ingestão foi motivada por sua performance e simplicidade para aplicações de alta concorrência e streaming de arquivos. Já o **PySpark em EMR Serverless** foi escolhido para as camadas **silver** e **gold**, onde era necessário processar grandes volumes com joins, MERGE e agregações analíticas complexas.

Esse equilíbrio entre **componentes sob medida (Go)** e **frameworks gerenciados (EMR Serverless)** permitiu maximizar a performance em diferentes partes do pipeline, mantendo custos sob controle.

**3.3 Controle Incremental e Reprocessamento**

Ao invés de usar estruturas tradicionais de orquestração baseadas em agendamento fixo, foi adotado um modelo **event-driven**, onde cada novo arquivo .gz gera um controle no **DynamoDB** com status, timestamps e tentativas.

Esse controle é utilizado pelas **Step Functions** para disparar o processamento de forma desacoplada, com escolha do runtime (Lambda ou ECS) baseada no volume. Essa estrutura também permite reprocessamentos manuais ou automáticos de arquivos com erro, sem precisar duplicar a lógica do pipeline.

**3.4 Processamento Transacional**

Na camada silver, a escolha pelo **Apache Iceberg** permitiu implementar **lógica transacional baseada em eventos**: cada registro da bronze carrega um campo operation (insert, update, delete), que é interpretado e aplicado na silver com comandos MERGE, respeitando a integridade da base.

Esse modelo garante consistência sem exigir reprocessamentos full ou tratamentos artificiais. A abordagem foi validada com datasets reais de benchmark com mais de 1 milhão de linhas.

**3.5 Enriquecimento e Derivação**

As camadas silver e gold foram enriquecidas com informações temporais (created\_at, updated\_at) extraídas do contexto de execução. Na gold, foram criadas agregações úteis para visualizações exploratórias, como:

* Rankings por cerveja, cervejaria, estilo e usuário
* Análises por estado e volume
* Tabela derivada review\_flat com joins otimizados e filtragem de soft deletes

**3.6 Observabilidade Real e Reprodutível**

A observabilidade foi implementada com foco em **análise, operação e custo**:

* **Grafana AWS Managed** com três dashboards principais:
  + Analítico (Athena sobre camada gold)
  + Operacional (CloudWatch)
  + Financeiro (CUR via Athena)
* Toda a criação dos dashboards é **automatizada via CLI**, com templates versionados
* A solução suporta filtros por tempo (via partições) e pode ser expandida com novos painéis sem intervenção manual

**3.7 Governança e LGPD**

A governança foi tratada desde o início como um pilar do projeto:

* **Lake Formation** controla acesso por tabela, coluna e usuário
* **CloudTrail** audita acessos a dados
* **Criptografia em repouso** com KMS aplicada na camada *raw*, com rotação e controle de acesso restrito
* **Mascaramento automático** de campos sensíveis via AWS Comprehend (PII detection), com aplicação de hashing

**3.8 Benchmarking e Otimizações**

Uma parte importante do projeto foi dedicada à **experimentação controlada de desempenho**, com foco na etapa de **ingestão da camada bronze**.

* Foram comparadas 3 abordagens para leitura de arquivos .csv.gz e escrita em **formato Parquet**:
  1. Go puro (ECS)
  2. PySpark (Glue Job)
  3. PySpark (EMR Serverless)
* A abordagem com **Go puro em ECS** apresentou desempenho até **17x superior**, com **uso baixíssimo de memória**, justificando sua adoção como engine principal para ingestão de dados na camada bronze.

Todos os testes foram **documentados, reproduzíveis** e integrados ao projeto como uma stack dedicada (dm-benchmark), permitindo validação contínua e futura evolução.

# IV. Melhorias e Considerações Finais

O projeto foi desenvolvido com o objetivo de atender aos critérios do programa de certificação do Data Master. Durante sua construção, porém, diversos pontos foram identificados como oportunidades de evolução arquitetural, operacional e analítica. Algumas dessas melhorias não foram implementadas por restrições técnicas, de escopo ou prioridade, mas representam possíveis caminhos estratégicos para ganho de eficiência, escalabilidade e governança no médio e longo prazo.

**Melhorias Futuras**

Diversos pontos foram identificados como oportunidades reais de evolução:

* **Unificação em Go com Apache Iceberg (iceberg-go)**: eliminar EMR em cenários simples e usar ECS/Lambda para operações analíticas leves.
* **Compactação ativa de arquivos Iceberg**: redução de small files via RewriteDataFiles automatizado.
* **Políticas de retenção em S3**: expurgo automático em raw e bronze com regras de ciclo de vida.
* **Parametrização de recursos nas stacks**: permitir ajustes dinâmicos por ambiente e controle de custo/performance.
* **Versionamento de schema na bronze**: separação por prefixos (v1/, v2/) para garantir schema evolution sem perder compatibilidade com Athena e Glue sem impacto em performance.
* **Governança reforçada na camada raw**: integração com Amazon Macie para detectar PII não estruturado.
* **Validação de qualidade de dados**: regras de integridade e consistência com Deequ ou lógicas customizadas.
* **Catalogação e linhagem de dados**: adoção futura de OpenMetadata ou DataHub para rastreabilidade fim a fim.
* **Data Contracts entre camadas**: definição formal de schemas e SLAs entre componentes.
* **Observabilidade do controle (DynamoDB)**: replicação para S3 com Athena para dashboards operacionais.
* **API unificada para orquestração**: encapsular a CLI em uma REST API, habilitando integração visual e por terceiros.
* **Flexibilização tecnológica**: suporte alternativo a Kafka, MySQL, MongoDB, etc., sem alterar a base arquitetural.
* **Abertura como projeto open source**: documentação, versionamento e estímulo à contribuição da comunidade.

**Considerações Finais**

A solução entregue demonstra que é possível construir pipelines analíticos modernos com alta rastreabilidade, custo controlado e forte governança, sem depender exclusivamente de frameworks tradicionais. A adoção de **Go puro** na camada bronze foi uma aposta ousada e bem-sucedida, mostrando-se escalável tanto em ECS quanto em Lambda, e reforçando que simplicidade e performance podem andar juntas.

O projeto foi desenvolvido com foco em atender aos critérios exigidos pelo programa Data Master, buscando demonstrar domínio técnico, clareza arquitetural, capacidade de experimentação e reprodutibilidade. Todas as decisões estão documentadas, justificadas com benchmarks, e apoiadas por uma base de código executável e modular.