Banco de dados replicados na edge, uma abordagem híbrida

Grupo 4

Ben Hur Faria Reis

Filipe Silveira Chaves

Thiago Monteles de Sousa

Felipe Aguiar Costa

João Paulo Rocha

Introdução

Em sistemas distribuídos, a consistência é um elemento-chave para garantir que as réplicas de dados em diferentes nós estejam sincronizadas e apresentem uma visão coerente do estado global. A replicação de bancos de dados oferece maior disponibilidade e escalabilidade, mas pode introduzir desafios relacionados à consistência dos dados. Duas abordagens principais são adotadas para lidar com esse problema: consistência forte e consistência eventual. A consistência forte assegura que todas as leituras refletem imediatamente as últimas operações de escrita, enquanto a consistência eventual permite que as réplicas se tornem consistentes em algum momento futuro. A escolha entre essas abordagens depende das necessidades específicas do sistema e dos requisitos do usuário.

Diante desse contexto, o presente projeto tem como objetivo criar um banco de dados replicado que ofereça a possibilidade de escolha entre a consistência forte e a consistência eventual, proporcionando maior flexibilidade e adaptabilidade ao sistema. Através da aplicação de princípios de sistemas distribuídos, fundamentos de arquiteturas e paradigmas de comunicação, pretende-se alcançar uma solução eficiente e confiável para a replicação de dados. Além disso, o projeto explorará o uso de técnicas como os Conflict-free Replicated Data Types (CRDT) para garantir a consistência eventual e o algoritmo Raft para assegurar a consistência forte. Dessa forma, busca-se proporcionar aos usuários a capacidade de selecionar a abordagem mais adequada às suas necessidades e ao contexto de uso do banco de dados replicado.

Revisão bibliográfica

Diversas técnicas de consistência são capazes de serem gerencialmente utilizadas, aplicando conceitos de consistência forte ou eventual. Para isso, foi realizada uma busca por referências que possibilitem a fundamentação teórica desses conceitos e auxiliem na construção final do projeto.

Um dos artigos selecionados é "Conflict-free Replicated Data Types: An Overview" de Nuno Preguiça (2018). Ele introduz a abordagem da consistência eventual, permitindo divergência temporária de estados entre os nós, mas disponibilizando mecanismos de convergência determinística. O artigo apresenta conceitos de sincronização de estados de dados com consistência eventual e diversas semânticas de concorrência utilizando CRDTs, como registradores, contadores, conjuntos, listas, mapas e modelos de sincronização baseados em estados ou operações.

Outro artigo relevante é "DSON: JSON CRDT Using Delta-Mutations For Document Stores" de Rik Rinberg et al. (2022). Ele propõe uma nova abordagem para resolver o problema de sincronização de dados em sistemas de armazenamento de documentos distribuídos, utilizando CRDTs em um formato baseado em JSON chamado DSON.

Além disso, o trabalho intitulado "Consistency Models of NoSQL Databases" de Miguel Diogo (2019) analisa e compara a implementação do modelo de consistência em cinco bancos de dados NoSQL, tanto eventual quanto forte. Através dessas comparações, o autor define os melhores métodos e abordagens para a implementação de cada tipo de consistência, identificando vantagens e desvantagens em diferentes bancos de dados.

Outro artigo relevante é "Strongly consistent replication for a bargain" de Krikellas (2022). Nesse estudo, o autor analisa e compara duas técnicas escaláveis que buscam garantir segurança e desempenho para sistemas de banco de dados utilizando consistência forte. Mais uma vez, são apresentados métodos e abordagens para a implementação desse tipo de consistência em diferentes contextos.

Por fim, a revisão bibliográfica é finalizada com o artigo "Consenso em Sistemas Distribuídos: RAFT vs CRDTs" de Donald Hamnes (2019). Nessa análise comparativa, o autor examina os dois protocolos de consenso mais utilizados em consistência eventual (CRDTs) e forte (RAFT). O estudo demonstra conceitos teóricos sobre esses protocolos, possíveis implementações e realiza simulações para garantir a usabilidade e eficácia dos mesmos.

Com isso foi possível obter as informações necessárias para a escolha dos protocolos de consenso eventual e forte que serão utilizados neste trabalho.

Referencial Teórico

1. Fundamentos de Sistemas Distribuídos relacionados ao Projeto (background):

Nesta seção, serão descritos os princípios de sistemas distribuídos que serão aplicados no projeto, bem como os fundamentos das arquiteturas e estilos arquiteturais relevantes para a replicação do banco de dados.

Descrição dos princípios de sistemas distribuídos: Serão explorados os princípios de replicação e tolerância a falhas, fundamentais para a criação de um banco de dados replicado.

Descrição dos fundamentos de arquiteturas de sistemas distribuídos e dos estilos arquiteturais: Serão aplicados dois estilos arquiteturais - cliente-servidor e peer-to-peer - para a replicação do banco de dados. As chamadas de serviços externos aos nós do cluster do banco de dados seguirão o esquema cliente-servidor, enquanto a comunicação interna de replicação dos dados no cluster será no estilo peer-to-peer, sem a necessidade de um ponto central no cluster.

Descrição dos fundamentos de paradigmas de comunicação em sistemas distribuídos: A comunicação interna entre os nós do cluster será realizada utilizando o paradigma de comunicação RPC (Remote Procedure Call). Já a comunicação externa entre os clientes e os nós do cluster utilizará o protocolo HTTP com o esquema request-reply, permitindo a manipulação externa dos dados com tratamento transparente de replicação e consistência.

2. Descrição sobre robustez em sistemas distribuídos:

Nesta parte do referencial teórico, serão apresentados conceitos relacionados à garantia de robustez no contexto de sistemas distribuídos, enfatizando nomeação, coordenação, consenso, consistência e replicação, bem como a tolerância a falhas.

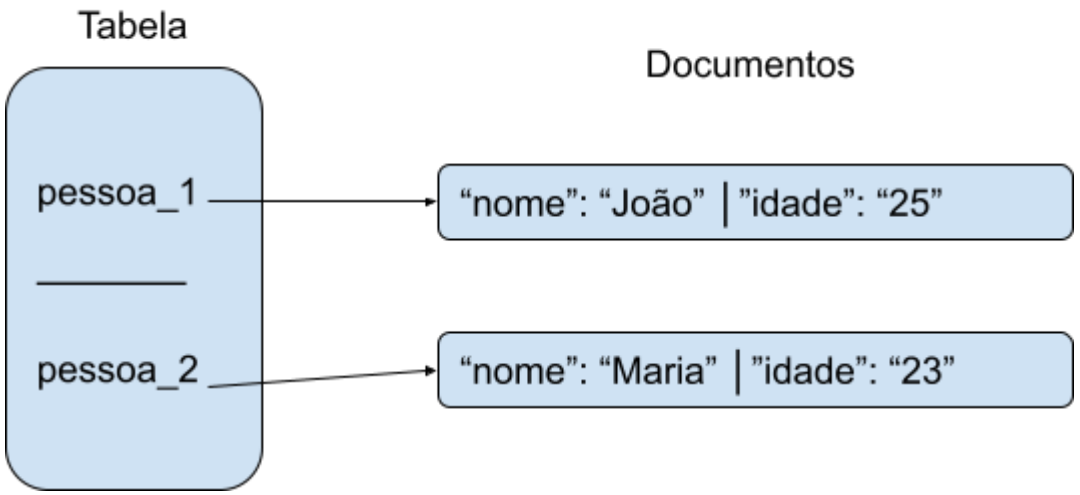
Utilização de Conflict-free Replicated Data Types (CRDT): Para garantir a consistência eventual, o projeto empregará o conceito de CRDT. Esses tipos de dados replicados são livres de conflitos, possuem operações comutativas, uma operação de união e são otimizados para diferentes tipos de dados, como conjuntos, listas e registros.

Garantia de consistência forte com o algoritmo Raft: Para assegurar a consistência forte, o projeto utilizará o algoritmo Raft. Esse algoritmo divide os nós em líder e seguidores, realiza eleições de líder, confirma as operações após receberem a maioria dos votos dos nós e possui mecanismos de tolerância a falhas para manter a disponibilidade do sistema. Além disso, o Raft permite a reconfiguração dinâmica do cluster, caso seja necessário adicionar ou remover nós.

Metodologia:

Nesta seção, será descrito como o projeto será implementado e quais etapas serão seguidas para atingir os objetivos propostos. A metodologia abrangerá a criação das tabelas no banco de dados, a especificação da consistência (forte ou eventual) para cada tabela, as operações de deleção, inserção, modificação e obtenção de registros nas tabelas, bem como a utilização dos princípios, arquiteturas e paradigmas de comunicação descritos no referencial teórico.

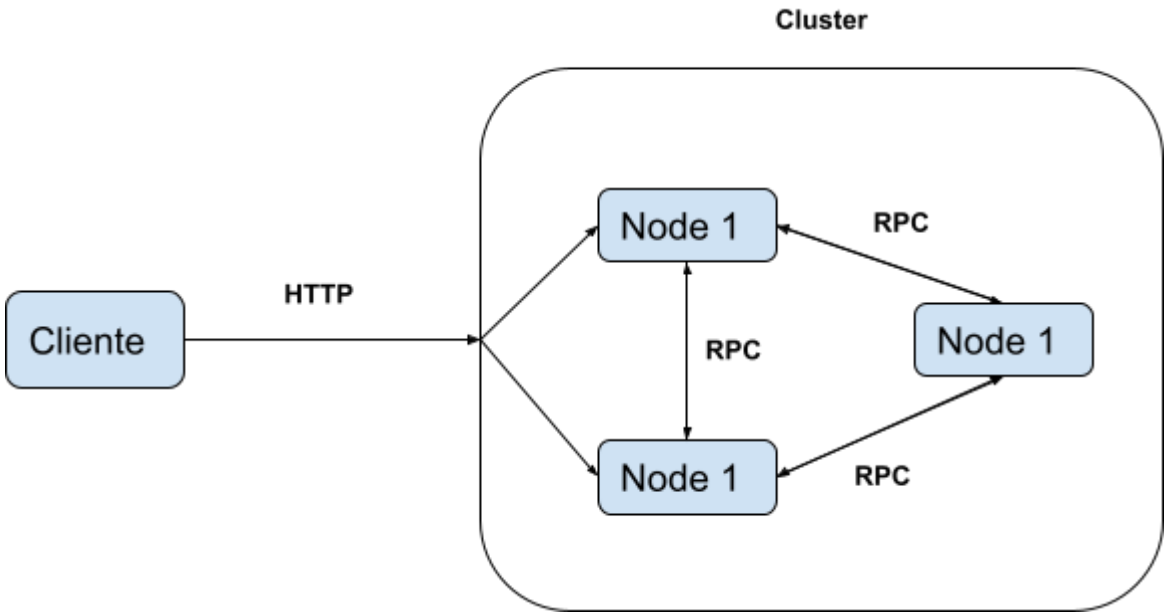
Design dos dados



Para o design dos dados será utilizado tabelas no banco de dados, onde cada tabela é uma coleção de documentos, cada documento tem um ID do tipo string, cada tabela pode ser configurada para ter ou consistência forte (RAFT) ou eventual (CRDT). Além disso, os documentos irão guarda um mapa chave-valor, as chaves e os valores strings, as chaves podem ser arbitrárias, não tendo um esquema fixo para os dados.

Implementação das operações

Serão implementadas as operações de deleção, inserção, modificação e obtenção de registros nas tabelas, de acordo com a consistência especificada para cada uma.
Os princípios de replicação e tolerância a falhas serão aplicados para garantir a efetividade da replicação do banco de dados.



Como demonstrado na figura acima, serão utilizados os estilos arquiteturais cliente-servidor e peer-to-peer, onde as chamadas de serviços externos e a comunicação interna de replicação seguirão os estilos cliente-servidor e peer-to-peer, respectivamente. Utilização do paradigma de comunicação RPC e protocolo HTTP, tendo a comunicação entre os nós do cluster e os clientes será feita utilizando RPC e o protocolo HTTP com esquema request-reply.

A comunicação HTTP terá como possíveis interações:
PUT /<table>
Cria uma tabela (indica no corpo se ela vai
ter consistência forte ou eventual)
DELETE /<table>
Cria uma tabela (indica no corpo se ela vai
ter consistência forte ou eventual)
GET /<table>/<doc id>
Retorna o mapa de chaves e valores de um documento
PUT /<table>/<doc id> (body: keys/values)
Substitui o documento inteiro, apagando outras chaves não especificadas nesta chamada
PATCH /<table>/<doc id> (body: keys/values)
Substitui valores dentro de um documento, mantendo chaves já existentes que não foram especificadas nesta chamada
DELETE /<table>/<doc id>
Deleta um documento

Por fim será realizado a Integração dos conceitos de CRDT e algoritmo Raft para garantir a consistência eventual e a consistência forte, respectivamente, os conceitos de CRDT e o algoritmo Raft serão integrados à implementação do projeto.

Situação atual do projeto (17/07/2023)

	Maio	Junho	Julho	Agosto
Revisão bibliográfica	X	X		
Apresentação interno de métodos de consistência	X	X		
Codificação		X	X	X

X concluído
X em processo

Para concluir o projeto teremos as seguintes etapas:

1. Revisão bibliográfica: (TODOS)
2. Elaboração de apresentações internar sobre métodos de consistência (TODOS)
3. Decisão sobre os métodos de consistência (TODOS)
4. Elaboração de um esquema arquitetural de comunicação e dados. (TODOS)
5. Codificação de um banco de dados replicado (Felipe Aguia, Ben Hur)
6. Codificação do protocolo CRDT (Felipe Aguia, Ben Hur)
7. Codificação do protocolo RAFT (Filipe Chaves,João Paulo)
8. Codificação de um visualizador dos estados dos nós (Thiago, Ben Hur)
9. Codificação do agregador final dos protocolos e banco de dados replicado (Thiago)

Status	Etapas	observação
Concluída	1 ao 4	
Em andamento (com algum código já feito)	6,7,8	todos possuem já algum nível de implementação
Em breve	9	Etapa final