

Documentação Técnica - Sistema Integrado de Gestão de Almojarifado (SIGA)

Corpo de Bombeiros Militar de Mato Grosso (CBM MT)

Modelagem de Dados PostgreSQL

Data: 18 de junho de 2025

Autor: SD Walingson 4ºBBM Sinop MT

Sumário Executivo

Esta documentação técnica apresenta a modelagem de dados PostgreSQL para o Sistema Integrado de Gestão de Almojarifado (SIGA) do Corpo de Bombeiros Militar de Mato Grosso. O sistema foi projetado para atender às necessidades específicas de uma organização militar especializada em operações de emergência, combate a incêndios e salvamento, incorporando funcionalidades avançadas de rastreabilidade, gestão de custódia em campo, vinculação a eventos operacionais, avaliação de materiais e registro de ocorrências.

A modelagem apresentada representa uma solução robusta e escalável, capaz de suportar as operações complexas do CBM MT, desde o gerenciamento básico de estoque até o controle detalhado de materiais em operações de campo de longa duração. O banco de dados foi estruturado para garantir a integridade dos dados, a eficiência das consultas e a facilidade de manutenção, utilizando as melhores práticas de engenharia de software e administração de banco de dados.

1. Arquitetura Geral do Sistema

1.1. Visão Arquitetural

O Sistema Integrado de Gestão de Almojarifado foi concebido seguindo uma arquitetura de banco de dados relacional híbrida, que combina a robustez e consistência dos modelos relacionais tradicionais com a flexibilidade dos campos JSONB para extensibilidade futura. Esta abordagem permite que o sistema mantenha a integridade referencial e as garantias ACID (Atomicidade, Consistência, Isolamento e Durabilidade)

enquanto oferece a capacidade de adaptar-se a novos requisitos sem necessidade de alterações estruturais significativas.

A arquitetura é fundamentada em cinco pilares principais: gestão de entidades organizacionais (unidades, militares, almoxarifados), controle de materiais e equipamentos, rastreamento de operações e movimentações, gestão de eventos operacionais e sistema de auditoria e notificações. Cada pilar é implementado através de conjuntos de tabelas especializadas, interconectadas por relacionamentos bem definidos que garantem a consistência dos dados e facilitam a geração de relatórios complexos.

O sistema utiliza particionamento temporal para tabelas de alto volume, como operações, histórico de estoque, logs de auditoria e notificações. Esta estratégia garante que o desempenho das consultas seja mantido mesmo com o crescimento exponencial dos dados ao longo dos anos de operação. As partições são criadas automaticamente através de triggers e funções especializadas, reduzindo a necessidade de intervenção manual e garantindo a continuidade operacional.

1.2. Princípios de Design

O design da modelagem de dados foi guiado por princípios fundamentais que garantem a qualidade, manutenibilidade e evolução do sistema. O primeiro princípio é a normalização controlada, onde as tabelas são normalizadas até a terceira forma normal para eliminar redundâncias, mas com desnormalizações estratégicas em pontos específicos para otimizar consultas frequentes. Esta abordagem equilibra a integridade dos dados com a performance das operações.

O segundo princípio é a extensibilidade através de campos JSONB, que permite a adição de novos atributos sem alterações estruturais no banco de dados. Estes campos são utilizados de forma criteriosa, apenas em situações onde a flexibilidade é mais importante que a estrutura rígida, como em configurações específicas de equipamentos ou detalhes adicionais de operações que podem variar significativamente entre diferentes tipos de atividades.

O terceiro princípio é a rastreabilidade completa, implementada através de um sistema abrangente de auditoria que registra todas as alterações em tabelas críticas. Cada operação é documentada com informações sobre quem realizou a alteração, quando foi feita, quais dados foram modificados e o contexto da operação. Esta funcionalidade é essencial para organizações militares, onde a prestação de contas e a transparência são requisitos fundamentais.

1.3. Estratégia de Particionamento

A estratégia de particionamento adotada é baseada em intervalos temporais, adequada para o padrão de acesso aos dados do sistema. As tabelas `operacao`, `historico_estoque`, `log_auditoria` e `notificacao` são particionadas por períodos específicos: operações por trimestre, histórico de estoque por semestre, logs de auditoria por mês e notificações por mês. Esta granularidade foi escolhida com base na análise do volume esperado de dados e nos padrões de consulta típicos.

O particionamento automático é implementado através de funções PL/pgSQL que são executadas por triggers no momento da inserção de novos registros. Quando uma inserção é feita em uma data para a qual não existe partição, o sistema automaticamente cria a nova partição com os índices apropriados. Este mecanismo garante que o sistema continue operando sem interrupções mesmo quando novos períodos são alcançados.

A gestão do ciclo de vida das partições inclui procedimentos para arquivamento e remoção de partições antigas. Partições com mais de cinco anos são automaticamente movidas para um esquema de arquivo, onde permanecem acessíveis para consultas históricas mas não impactam o desempenho das operações correntes. Partições com mais de dez anos podem ser exportadas para armazenamento externo e removidas do banco principal, seguindo políticas de retenção de dados estabelecidas pela organização.

2. Estrutura de Entidades Organizacionais

2.1. Gestão de Unidades do CBM

A estrutura organizacional do Corpo de Bombeiros Militar de Mato Grosso é representada através da tabela `unidade_cbm`, que modela a hierarquia complexa da organização. Esta tabela suporta uma estrutura hierárquica recursiva, onde cada unidade pode ter uma unidade superior, permitindo a representação de comandos regionais, batalhões, companhias, pelotões e outras subdivisões organizacionais.

A tabela inclui informações essenciais como nome completo da unidade, sigla padronizada, dados de contato e localização física. O campo `comandante_id` estabelece a ligação com o militar responsável pela unidade, permitindo consultas rápidas sobre a cadeia de comando. O campo `unidade_superior_id` implementa a hierarquia organizacional, facilitando consultas que precisam navegar pela estrutura de comando.

O campo `informacoes_complementares` em formato JSONB permite o armazenamento de dados específicos de cada tipo de unidade, como especialidades operacionais, efetivo autorizado, equipamentos principais e outras características que podem variar significativamente entre diferentes tipos de unidades. Esta flexibilidade é crucial para acomodar a diversidade de unidades especializadas dentro do CBM MT.

2.2. Cadastro e Gestão de Militares

O sistema de gestão de militares é implementado através da tabela `militar`, que centraliza todas as informações pessoais e funcionais dos membros da corporação. A tabela utiliza domínios personalizados para garantir a consistência de dados críticos como matrícula e CPF, implementando validações automáticas que previnem a inserção de dados malformados.

A estrutura inclui campos para informações básicas como nome completo, nome de guerra (amplamente utilizado no ambiente militar), posto ou graduação, e dados de contato. A ligação com a unidade de lotação é estabelecida através do campo `unidade_id`, permitindo consultas eficientes sobre a distribuição de efetivo e a localização de militares específicos.

O campo `situacao` utiliza um tipo enumerado que define os possíveis estados funcionais de um militar (ativo, licenciado, afastado, reservista, reformado), garantindo consistência nos dados e facilitando consultas estatísticas sobre o efetivo. O campo `informacoes_complementares` em JSONB permite o armazenamento de dados como especialidades, cursos realizados, habilitações especiais e outras informações que podem ser relevantes para a designação de tarefas específicas.

2.3. Estrutura de Almoxarifados

A gestão de almoxarifados é implementada através de duas tabelas principais: `almoxarifado` e `localizacao`. A tabela `almoxarifado` define as características gerais de cada depósito, incluindo capacidade, área total, responsável e configurações específicas. Esta estrutura permite que cada unidade do CBM tenha múltiplos almoxarifados especializados, como almoxarifados de materiais de combate a incêndio, equipamentos de resgate, materiais administrativos, entre outros.

A tabela `localizacao` implementa um sistema de endereçamento interno detalhado, permitindo a localização precisa de materiais dentro de cada almoxarifado. O sistema suporta uma estrutura hierárquica de setores, prateleiras, níveis e posições, facilitando tanto o armazenamento organizado quanto a localização rápida de itens específicos. Cada localização pode ter restrições especiais definidas em JSONB, como limitações de peso, tipos de materiais permitidos ou requisitos de acesso restrito.

A integração entre almoxarifados e localizações permite consultas complexas sobre a distribuição espacial de materiais, otimização de rotas de coleta e identificação de localizações subutilizadas ou sobrecarregadas. Esta funcionalidade é essencial para a eficiência operacional, especialmente em situações de emergência onde a rapidez na localização e retirada de materiais pode ser crítica.

3. Sistema de Classificação e Gestão de Materiais

3.1. Categorização Dinâmica de Materiais

O sistema de categorização de materiais é implementado através da tabela `categoria_material`, que suporta uma hierarquia flexível e extensível de categorias e subcategorias. Esta estrutura permite a organização lógica de materiais de acordo com critérios funcionais, operacionais ou administrativos, facilitando tanto a gestão quanto a localização de itens específicos.

A hierarquia de categorias é implementada através de uma estrutura recursiva, onde cada categoria pode ter uma categoria pai, permitindo múltiplos níveis de classificação. Por exemplo, uma categoria principal "Equipamentos de Combate a Incêndio" pode ter subcategorias como "Mangueiras", "Esguichos", "Equipamentos de Proteção Individual", e cada uma dessas pode ter subdivisões adicionais baseadas em características técnicas ou aplicações específicas.

O campo `configuracoes_especificas` em JSONB permite que cada categoria tenha regras e parâmetros únicos, como requisitos de treinamento para uso, periodicidade de manutenção, condições especiais de armazenamento ou critérios de substituição. Esta flexibilidade é fundamental para acomodar a diversidade de materiais utilizados pelo CBM MT, desde equipamentos altamente especializados até materiais de consumo básico.

3.2. Gestão de Tipos de Viaturas

A tabela `tipo_viatura` implementa um sistema de categorização dinâmica para os diferentes tipos de viaturas utilizadas pelo CBM MT. Esta abordagem permite a adição de novos tipos de viaturas conforme a corporação adquire equipamentos especializados ou desenvolve novas capacidades operacionais, sem necessidade de alterações estruturais no banco de dados.

Cada tipo de viatura é caracterizado por informações como categoria principal (combate a incêndio, resgate, transporte, comando), subcategoria específica (urbano, florestal, aquático), e especificações técnicas detalhadas armazenadas em JSONB. Esta estrutura

permite consultas sofisticadas sobre capacidades operacionais, como identificar todas as viaturas com capacidade de transporte de água superior a determinado volume ou viaturas equipadas com escadas mecânicas.

O campo `requisitos_operacionais` define os pré-requisitos para operação de cada tipo de viatura, incluindo habilitações necessárias, treinamentos obrigatórios e tamanho mínimo da tripulação. Esta informação é crucial para o planejamento operacional e para garantir que as viaturas sejam operadas apenas por militares devidamente qualificados.

3.3. Estrutura Base de Materiais

A tabela `material_base` serve como o núcleo central do sistema de gestão de materiais, concentrando informações comuns a todos os tipos de materiais independentemente de sua natureza específica. Esta abordagem permite consultas unificadas sobre o inventário completo enquanto mantém a flexibilidade para especializações através de tabelas relacionadas.

Cada material é identificado por um código único que segue padrões estabelecidos pela organização, facilitando a integração com sistemas externos e a padronização de procedimentos. O sistema inclui campos para informações básicas como nome, descrição, categoria, unidade de medida e valores financeiros, além de parâmetros operacionais como estoques mínimo e máximo.

O campo `atributos_adicionais` em JSONB permite o armazenamento de características específicas que podem variar significativamente entre diferentes tipos de materiais. Por exemplo, materiais químicos podem ter informações sobre toxicidade e prazo de validade, equipamentos eletrônicos podem ter especificações técnicas detalhadas, e materiais têxteis podem ter informações sobre tamanhos e cores disponíveis.

3.4. Especialização por Tipo de Material

O sistema implementa especialização através de tabelas dedicadas para diferentes tipos de materiais: `material_consumo`, `material_permanente`, `equipamento` e `viatura`. Esta abordagem permite que cada tipo de material tenha campos específicos para suas características únicas, mantendo a organização lógica dos dados e otimizando as consultas.

A tabela `material_consumo` inclui informações específicas para materiais que são consumidos durante o uso, como data de validade, lote de fabricação, instruções de uso e restrições de armazenamento. Estes campos são essenciais para o controle de

qualidade e para garantir que materiais vencidos ou inadequados não sejam utilizados em operações críticas.

A tabela `material_permanente` foi aprimorada para incluir controle de ocorrências, com campos que indicam se o material possui ocorrências pendentes e um histórico de incidentes em formato JSONB. Esta funcionalidade permite o acompanhamento detalhado do ciclo de vida de materiais permanentes, identificando padrões de problemas e orientando decisões sobre manutenção, substituição ou baixa.

A tabela `equipamento` concentra informações técnicas específicas para equipamentos especializados, incluindo número de série, especificações técnicas detalhadas, manuais de operação e certificações. A tabela `viatura` inclui informações específicas para viaturas, como dados de documentação, quilometragem, manutenção e seguro, essenciais para o controle da frota.

4. Sistema de Operações e Movimentações

4.1. Estrutura Principal de Operações

A tabela `operacao` constitui o núcleo do sistema de rastreamento de movimentações, registrando todas as transações que envolvem materiais dentro do sistema. A tabela é particionada por data para garantir performance adequada mesmo com grandes volumes de dados, e inclui campos para todos os tipos de movimentação suportados pelo sistema.

Cada operação é identificada por um número sequencial único que facilita a referência e o rastreamento. O campo `tipo_movimentacao` utiliza um tipo enumerado que inclui todas as possibilidades: entrada, saída, transferência, devolução, concessão, cautela, baixa, manutenção, reserva e transferência de custódia. Esta padronização garante consistência nos dados e facilita a geração de relatórios estatísticos.

A estrutura inclui campos para identificar os almoxarifados de origem e destino, os militares responsável e recebedor, quantidades, valores e datas relevantes. O campo `detalhes_adicionais` em JSONB permite o armazenamento de informações específicas para cada tipo de operação, como condições especiais, autorizações necessárias ou observações técnicas.

4.2. Gestão de Custódia e Transferências em Campo

Uma das inovações mais significativas do sistema é a capacidade de rastrear transferências de custódia de materiais diretamente em campo, implementada através da tabela `custodia_campo`. Esta funcionalidade atende a uma necessidade crítica das

operações do CBM MT, onde materiais cautelados frequentemente precisam ser transferidos entre militares durante operações de longa duração sem retorno ao almoxarifado.

A tabela registra cada evento de transferência com informações detalhadas sobre quem entregou, quem recebeu, quando e onde a transferência ocorreu, e as condições do material no momento da transferência. Esta rastreabilidade é essencial para manter a cadeia de responsabilidade e para investigações posteriores em caso de problemas com o material.

O sistema automaticamente atualiza a tabela `cautela_detalle` para refletir o novo custodiante, mantendo sempre atualizada a informação sobre quem detém a responsabilidade por cada material cautelado. Esta funcionalidade é implementada através de triggers que garantem a consistência dos dados e reduzem a possibilidade de erros manuais.

4.3. Controle de Estoque em Tempo Real

O sistema mantém o controle de estoque em tempo real através da tabela `estoque_atual`, que é automaticamente atualizada sempre que uma operação é concluída. A tabela foi aprimorada para incluir o controle de quantidades em custódia externa, permitindo uma visão completa da distribuição de materiais entre o almoxarifado físico e as operações de campo.

A atualização automática é implementada através de triggers que analisam o tipo de movimentação e ajustam as quantidades apropriadas. Por exemplo, uma operação de cautela reduz a quantidade disponível no almoxarifado e aumenta a quantidade em custódia externa, enquanto uma devolução faz o movimento inverso. Esta automação elimina discrepâncias entre o estoque físico e o registrado no sistema.

O sistema também mantém um histórico detalhado de estoque através da tabela `historico_estoque`, que registra snapshots periódicos das quantidades de cada material. Esta funcionalidade permite análises temporais de consumo, identificação de tendências e planejamento de aquisições futuras baseado em dados históricos concretos.

4.4. Detalhamento de Operações Específicas

O sistema inclui tabelas de detalhamento para operações específicas que requerem informações adicionais além das registradas na tabela principal de operações. A tabela `cautela_detalle` foi aprimorada para incluir informações sobre custódia atual,

permitindo o rastreamento completo da cadeia de responsabilidade mesmo quando há transferências em campo.

Outras tabelas de detalhamento incluem `entrada_detalhe`, `saida_detalhe`, `transferencia_detalhe`, `devolucao_detalhe`, `concessao_detalhe`, `baixa_detalhe`, `manutencao_detalhe` e `reserva_detalhe`. Cada uma dessas tabelas inclui campos específicos para o tipo de operação, como fornecedores para entradas, motivos para baixas, ou especificações técnicas para manutenções.

Esta estrutura detalhada permite que o sistema capture todas as nuances de cada tipo de operação, fornecendo informações ricas para análises posteriores e garantindo que todos os aspectos relevantes sejam documentados para fins de auditoria e prestação de contas.

5. Gestão de Eventos Operacionais

5.1. Estrutura de Eventos e Atividades

O sistema introduz o conceito de eventos operacionais através da tabela `evento_operacional`, que permite agrupar operações de movimentação de materiais sob contextos operacionais específicos. Esta funcionalidade é fundamental para organizações como o CBM MT, onde materiais são frequentemente utilizados em operações de longa duração que envolvem múltiplas movimentações e diversos tipos de recursos.

A tabela suporta diferentes tipos de eventos, incluindo incidentes (como incêndios florestais de grande porte), campanhas (como operações preventivas sazonais), atividades de rotina (como treinamentos regulares), e eventos sociais (como demonstrações públicas). Cada tipo de evento pode ter características específicas em termos de duração, recursos envolvidos e procedimentos operacionais.

O sistema permite que eventos tenham hierarquia temporal, onde um incidente de longa duração pode ser dividido em ciclos operacionais menores, cada um com suas próprias características e recursos. Esta flexibilidade é essencial para operações como combate a incêndios florestais, que podem durar meses e envolver rotação de equipes e equipamentos.

5.2. Vinculação de Operações a Eventos

A tabela `operacao_evento` implementa a ligação entre operações de movimentação de materiais e eventos operacionais, permitindo que múltiplas operações sejam associadas a um mesmo evento. Esta funcionalidade possibilita análises consolidadas

de consumo de recursos por evento, facilitando a avaliação de custos operacionais e o planejamento de recursos para eventos similares no futuro.

A vinculação pode ser feita no momento da criação da operação ou posteriormente, permitindo flexibilidade nos procedimentos operacionais. O sistema suporta a associação de uma operação a múltiplos eventos, acomodando situações onde recursos são compartilhados entre diferentes atividades simultâneas.

Esta estrutura permite a geração de relatórios detalhados sobre o consumo de materiais por evento, incluindo análises de custo-benefício, identificação de recursos críticos e avaliação da eficiência operacional. Estas informações são valiosas para o planejamento estratégico e para a justificativa de investimentos em novos equipamentos ou materiais.

5.3. Análise de Consumo por Evento

O sistema inclui views especializadas para análise de consumo de materiais por evento, permitindo consultas rápidas sobre quais materiais foram utilizados, em que quantidades, e qual foi o custo total associado. A view `vw_consumo_material_por_evento` consolida estas informações de forma eficiente, facilitando a geração de relatórios gerenciais.

As análises podem ser segmentadas por tipo de evento, período temporal, unidade responsável ou categoria de material, proporcionando flexibilidade para diferentes necessidades de relatório. O sistema também permite comparações entre eventos similares, identificando variações no consumo que podem indicar oportunidades de otimização ou necessidades de treinamento adicional.

Esta funcionalidade é particularmente valiosa para o planejamento de operações futuras, permitindo estimativas mais precisas de recursos necessários baseadas em dados históricos de eventos similares. Também facilita a prestação de contas para órgãos superiores e a justificativa de custos operacionais.

6. Sistema de Avaliação e Feedback

6.1. Avaliação de Materiais pelos Usuários

O sistema implementa um mecanismo abrangente de avaliação de materiais através da tabela `avaliacao_material`, permitindo que os militares forneçam feedback detalhado sobre a qualidade, usabilidade e desempenho dos materiais após o uso. Esta funcionalidade é crucial para a melhoria contínua do inventário e para decisões informadas sobre aquisições futuras.

Cada avaliação inclui uma nota geral de 1 a 5 estrelas, complementada por campos de texto livre para comentários detalhados, pontos positivos, pontos negativos e sugestões de melhoria. O sistema também registra as condições de uso do material, permitindo correlacionar o desempenho com fatores ambientais ou operacionais específicos.

As avaliações podem ser vinculadas a operações específicas ou eventos operacionais, proporcionando contexto adicional para a análise do feedback. Esta vinculação permite identificar se problemas com materiais são sistemáticos ou relacionados a condições específicas de uso, orientando decisões sobre treinamento, procedimentos operacionais ou especificações técnicas.

6.2. Análise de Desempenho e Ranking

O sistema calcula automaticamente médias de avaliação para cada material, permitindo a criação de rankings de desempenho que orientam decisões de aquisição e substituição. Materiais com avaliações consistentemente baixas podem ser identificados para revisão de especificações ou substituição por alternativas superiores.

A análise de feedback também permite identificar padrões de problemas que podem indicar necessidades de treinamento adicional, melhorias em procedimentos operacionais ou ajustes nas especificações técnicas de materiais. Por exemplo, se múltiplos usuários reportam dificuldades com um equipamento específico, isso pode indicar a necessidade de treinamento mais detalhado ou a inadequação do equipamento para as condições de uso locais.

O sistema inclui funcionalidades para análise temporal das avaliações, permitindo identificar tendências de melhoria ou deterioração no desempenho de materiais ao longo do tempo. Esta informação é valiosa para decisões sobre ciclos de substituição e para avaliação da qualidade de fornecedores.

6.3. Integração com Decisões de Aquisição

As informações de avaliação são integradas às views principais do sistema, permitindo que gestores tenham acesso imediato ao feedback dos usuários ao consultar informações sobre materiais. Esta integração facilita decisões informadas sobre reposição de estoque, especificação de novos materiais e avaliação de fornecedores.

O sistema permite a geração de relatórios consolidados de avaliação por categoria de material, fornecedor ou período temporal, facilitando análises estratégicas sobre a qualidade do inventário. Estes relatórios podem ser utilizados em negociações com fornecedores, especificação de novos contratos e planejamento de investimentos em equipamentos.

A funcionalidade de avaliação também suporta a criação de especificações técnicas mais precisas para futuras aquisições, baseadas no feedback real dos usuários finais. Esta abordagem centrada no usuário garante que os materiais adquiridos atendam efetivamente às necessidades operacionais da organização.

7. Sistema de Registro de Ocorrências

7.1. Documentação de Incidentes com Materiais

A tabela `ocorrencia_material` implementa um sistema abrangente para registro e acompanhamento de incidentes envolvendo materiais, desde avarias leves até perdas totais. Esta funcionalidade é essencial para organizações militares, onde a prestação de contas sobre o patrimônio público é um requisito fundamental e onde a análise de incidentes pode revelar oportunidades de melhoria em procedimentos ou treinamento.

Cada ocorrência é classificada por tipo (avaria leve, moderada ou grave, perda total, extravio, defeito de fabricação, desgaste natural), permitindo análises estatísticas sobre padrões de problemas. O sistema registra informações detalhadas sobre as circunstâncias da ocorrência, incluindo local, condições operacionais, causa provável e impacto no material.

O registro inclui campos para documentar as providências imediatas tomadas após a ocorrência e o status do processo de apuração. Esta estrutura garante que todos os incidentes sejam adequadamente investigados e que as responsabilidades sejam claramente estabelecidas, protegendo tanto a organização quanto os militares envolvidos.

7.2. Processo de Apuração e Resolução

O sistema implementa um fluxo completo de apuração de ocorrências, com campos para designação de responsável pela investigação, datas de início e fim da apuração, e parecer final. Este processo estruturado garante que todas as ocorrências sejam adequadamente investigadas e que as conclusões sejam documentadas para referência futura.

O status da ocorrência evolui através de estados bem definidos: registrada, em análise, aguardando reparo, reparado, aguardando substituição, substituído, baixado após ocorrência, resolvida sem ação, ou arquivada. Esta progressão permite o acompanhamento do processo de resolução e garante que nenhuma ocorrência seja esquecida ou deixada sem resolução.

O sistema automaticamente atualiza o status dos materiais permanentes quando ocorrências são registradas, marcando-os como tendo ocorrências pendentes e atualizando o histórico de incidentes. Esta funcionalidade permite consultas rápidas sobre materiais com problemas e facilita decisões sobre manutenção, substituição ou baixa.

7.3. Análise de Padrões e Prevenção

O sistema permite análises estatísticas sobre ocorrências, identificando padrões que podem indicar problemas sistemáticos com materiais específicos, fornecedores, ou procedimentos operacionais. Por exemplo, se um tipo específico de equipamento apresenta alta incidência de avarias em determinadas condições, isso pode indicar inadequação do equipamento para essas condições ou necessidade de treinamento adicional.

As análises podem ser segmentadas por tipo de material, unidade usuária, tipo de operação, ou condições ambientais, proporcionando insights valiosos para a melhoria contínua dos processos. O sistema também permite correlacionar ocorrências com avaliações de materiais, identificando situações onde problemas técnicos impactam a satisfação dos usuários.

Esta funcionalidade de análise é fundamental para a gestão proativa de riscos, permitindo a identificação e correção de problemas antes que se tornem críticos. Também fornece dados objetivos para negociações com fornecedores e para especificação de requisitos técnicos em futuras aquisições.

8. Sistema de Auditoria e Rastreabilidade

8.1. Log Abrangente de Auditoria

O sistema implementa um mecanismo abrangente de auditoria através da tabela `log_auditoria`, que registra automaticamente todas as operações críticas realizadas no sistema. Esta funcionalidade é implementada através de triggers que capturam inserções, atualizações e exclusões em tabelas sensíveis, garantindo que todas as alterações sejam documentadas com informações sobre quem, quando, o que e por que foi alterado.

Cada entrada no log inclui informações sobre a tabela afetada, o tipo de operação, o ID do registro modificado, o usuário responsável, os dados antes e depois da alteração, e informações de contexto como endereço IP e user agent. Esta riqueza de informações

permite investigações detalhadas sobre alterações específicas e facilita a identificação de padrões de uso ou problemas operacionais.

O log de auditoria é particionado por mês para garantir performance adequada mesmo com grandes volumes de dados. Partições antigas são automaticamente arquivadas seguindo políticas de retenção estabelecidas, mantendo o histórico acessível para investigações enquanto otimiza o desempenho das operações correntes.

8.2. Rastreabilidade Completa de Materiais

O sistema oferece rastreabilidade completa de materiais desde a entrada no sistema até sua baixa ou devolução. Esta rastreabilidade é implementada através da combinação de múltiplas tabelas: operações principais, detalhes específicos por tipo de operação, transferências de custódia em campo, e registros de ocorrências.

A view `vw_rastreabilidade_custodia_campo` consolida informações sobre a cadeia de custódia de materiais cautelados, mostrando todas as transferências realizadas em campo e identificando o custodiante atual. Esta funcionalidade é crucial para operações de longa duração onde materiais podem passar por múltiplas transferências antes de retornar ao almoxarifado.

O sistema também mantém histórico detalhado de todas as movimentações de cada material, permitindo consultas sobre onde um material específico esteve, quem foi responsável por ele em cada momento, e quais operações ou eventos estiveram envolvidos. Esta informação é valiosa tanto para investigações específicas quanto para análises de padrões de uso.

8.3. Integridade e Consistência de Dados

O sistema implementa múltiplas camadas de validação para garantir a integridade e consistência dos dados. Domínios personalizados validam formatos de dados críticos como CPF e placas de viaturas. Tipos enumerados garantem que apenas valores válidos sejam inseridos em campos de status e classificação. Constraints de chave estrangeira mantêm a integridade referencial entre tabelas relacionadas.

Triggers especializados implementam regras de negócio complexas, como a atualização automática de estoques após operações e a verificação de disponibilidade antes de permitir saídas. Estas validações automáticas reduzem significativamente a possibilidade de erros humanos e garantem que o sistema mantenha sempre um estado consistente.

O sistema também inclui procedimentos para verificação periódica da integridade dos dados, identificando e reportando inconsistências que possam ter surgido devido a

falhas de sistema ou operações manuais diretas no banco de dados. Estas verificações são executadas automaticamente e geram alertas para os administradores quando problemas são detectados.

9. Sistema de Notificações e Alertas

9.1. Notificações em Tempo Real

O sistema implementa um mecanismo robusto de notificações em tempo real utilizando a funcionalidade LISTEN/NOTIFY do PostgreSQL. Esta abordagem permite que o sistema gere alertas automáticos para situações críticas como estoque baixo, documentação vencida, ou ocorrências graves com materiais, sem necessidade de polling constante do banco de dados.

As notificações são categorizadas por tipo e prioridade, permitindo que diferentes tipos de alertas sejam tratados de forma apropriada. Notificações críticas, como materiais com estoque zerado durante uma operação de emergência, podem ser enviadas imediatamente para múltiplos canais (sistema, email, SMS), enquanto notificações de baixa prioridade podem ser agrupadas em relatórios periódicos.

O sistema suporta múltiplos canais de notificação e permite que usuários configurem suas preferências de recebimento. Administradores podem receber todas as notificações críticas, enquanto usuários operacionais podem receber apenas notificações relacionadas aos materiais sob sua responsabilidade.

9.2. Alertas Automáticos de Estoque

O sistema monitora continuamente os níveis de estoque e gera alertas automáticos quando materiais atingem níveis críticos. Estes alertas são configuráveis por material, permitindo que itens críticos tenham limites de alerta mais conservadores que materiais de uso menos frequente.

Os alertas incluem informações contextuais como histórico de consumo, tempo médio de reposição, e operações programadas que podem impactar o estoque. Esta informação adicional permite que gestores tomem decisões informadas sobre a urgência de reposição e sobre quantidades a serem adquiridas.

O sistema também gera alertas preventivos baseados em análises de tendência, identificando materiais que, embora ainda não tenham atingido níveis críticos, estão em trajetória de esgotamento baseada nos padrões de consumo recentes. Esta funcionalidade permite ações proativas que evitam situações de desabastecimento.

9.3. Monitoramento de Documentação e Compliance

O sistema monitora automaticamente datas de vencimento de documentação de viaturas, certificações de equipamentos, e validade de materiais de consumo. Alertas são gerados com antecedência suficiente para permitir renovação ou substituição antes do vencimento, evitando situações onde recursos ficam indisponíveis por problemas documentais.

Para viaturas, o sistema monitora vencimentos de seguro, licenciamento, revisões obrigatórias e inspeções técnicas. Para equipamentos, monitora certificações técnicas, calibrações obrigatórias e manutenções preventivas programadas. Para materiais de consumo, monitora datas de validade e condições de armazenamento.

Estes alertas são essenciais para manter a conformidade com regulamentações e para garantir que todos os recursos estejam sempre disponíveis para uso operacional. O sistema permite configuração de múltiplos alertas para cada tipo de vencimento, com antecedências diferentes para permitir planejamento adequado.

10. Performance e Otimização

10.1. Estratégias de Indexação

O sistema implementa uma estratégia abrangente de indexação que equilibra performance de consultas com overhead de manutenção. Índices B-tree são utilizados para consultas de igualdade e range em campos frequentemente utilizados em filtros e ordenações. Índices compostos são criados para consultas que filtram por múltiplos campos simultaneamente.

Índices GIN especializados são utilizados para campos JSONB, permitindo consultas eficientes em atributos específicos dentro dos documentos JSON. Estes índices são particularmente importantes para consultas em configurações específicas de equipamentos, detalhes adicionais de operações, e outros dados semi-estruturados.

A estratégia de indexação é continuamente monitorada e ajustada baseada em padrões reais de uso. O sistema inclui queries para identificar consultas lentas e índices subutilizados, permitindo otimizações contínuas da performance.

10.2. Otimização de Consultas

O sistema inclui views otimizadas para consultas frequentes, pré-calculando joins complexos e agregações que seriam custosas se executadas repetidamente. Estas views

são especialmente importantes para relatórios gerenciais e dashboards que precisam de resposta rápida.

Consultas complexas que envolvem múltiplas tabelas particionadas são otimizadas através de técnicas como partition pruning, onde o otimizador do PostgreSQL automaticamente elimina partições que não contêm dados relevantes para a consulta. Esta otimização é particularmente efetiva para consultas que filtram por períodos temporais específicos.

O sistema também utiliza materialized views para consultas analíticas complexas que não precisam de dados em tempo real. Estas views são atualizadas periodicamente através de jobs agendados, proporcionando performance excelente para relatórios estatísticos e análises históricas.

10.3. Gestão de Recursos e Escalabilidade

O sistema é projetado para escalar horizontalmente através de técnicas como read replicas para distribuir carga de consultas e particionamento para distribuir dados. A arquitetura suporta a adição de novos servidores de leitura conforme a demanda cresce, sem impacto nas operações de escrita.

A gestão de memória é otimizada através de configurações específicas do PostgreSQL que consideram os padrões de acesso aos dados do sistema. Buffers são dimensionados para manter em memória as partições mais acessadas e os índices mais utilizados, minimizando acessos a disco.

O sistema inclui monitoramento automático de performance com alertas para situações que podem impactar a experiência do usuário. Métricas como tempo de resposta de consultas, utilização de CPU e memória, e taxa de cache hits são continuamente monitoradas e reportadas.

Conclusão

A modelagem de dados apresentada representa uma solução abrangente e robusta para as necessidades de gestão de almoxarifado do Corpo de Bombeiros Militar de Mato Grosso. O sistema combina a solidez de uma arquitetura relacional bem estruturada com a flexibilidade necessária para acomodar as complexidades e variações inerentes às operações de uma organização militar especializada em emergências.

As funcionalidades implementadas atendem não apenas às necessidades básicas de controle de estoque, mas também aos requisitos avançados de rastreabilidade, prestação de contas, análise de performance e gestão de operações complexas. A

capacidade de rastrear materiais em campo, vincular movimentações a eventos operacionais, coletar feedback dos usuários e registrar ocorrências proporciona uma visão completa e detalhada de todos os aspectos relacionados à gestão de materiais.

A arquitetura técnica do sistema, com seu uso criterioso de particionamento, indexação especializada, e automação através de triggers e procedures, garante que o sistema mantenha performance adequada mesmo com o crescimento dos dados ao longo dos anos. A implementação de auditoria abrangente e notificações em tempo real proporciona a transparência e responsividade necessárias para uma organização pública.

O sistema está preparado para evoluir junto com as necessidades da organização, através de sua arquitetura extensível e do uso estratégico de campos JSONB para acomodar novos requisitos. Esta flexibilidade, combinada com a solidez da estrutura base, garante que o investimento no sistema continue proporcionando valor ao longo de muitos anos de operação.
