UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E TRANSPORTES

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO

MODELO PARA GESTÃO DE ESTOQUES DE INSUMOS PERECÍVEIS EM AMBIENTES INDUSTRIAIS: DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE UM FRAMEWORK

ÉRICK DA ROSA AZEVEDO

Orientador: RICARDO AUGUSTO CASSEL

PORTO ALEGRE
JUNHO/2026

RESUMO

Este trabalho propõe um modelo estruturado para a gestão de estoques de insumos perecíveis com restrição de validade em ambientes industriais. A partir de uma sub-representação identificada na literatura, a escassez de modelos voltados a insumos industriais como lubrificantes, fluidos de corte, solventes e reagentes químicos, o trabalho propõe um macroprocesso baseado em três fases de ação hierárquicas: prevenção, intervenção e mitigação. O instrumento central do modelo é o Índice de Risco de Vencimento (IRV), definido pela razão entre a validade residual do lote e o índice de cobertura do item, que classifica cada insumo em uma das três zonas de risco. A metodologia adotada é o desenvolvimento de *framework*, com avaliação preliminar por prova de conceito em um cenário construído a partir de 16 insumos distribuídos em quatro categorias, representativas de almoxarifados industriais típicos. Os resultados demonstram que o modelo é capaz de identificar, quantificar e orientar ações sobre itens em risco de vencimento, transformando um problema frequentemente invisível na gestão reativa em um processo gerenciável e rastreado. No cenário simulado, 29,3% do valor total em estoque, equivalente a R$ 10.082,00, estava exposto a risco de vencimento antes do consumo, grandeza que permaneceria imperceptível sem processo estruturado de monitoramento. O modelo é complementado por um painel de indicadores (*dashboard*) e por ferramentas de apoio à execução em cada fase, sendo apresentado como contribuição prática para gestores que enfrentam esse problema cotidianamente.

Palavras-chave: gestão de estoques; insumos perecíveis; prazo de validade; Índice de Risco de Vencimento; almoxarifado industrial.

ABSTRACT

This paper proposes a structured model for managing inventories of perishable materials with fixed expiration dates in industrial environments. Building on a gap identified in the literature, namely the scarcity of models addressing industrial materials such as lubricants, cutting fluids, solvents, and chemical reagents, this study develops a macro-process based on three hierarchical action phases: prevention, intervention, and mitigation. The central instrument of the model is the Expiration Risk Index (ERI), defined as the ratio of a batch's residual shelf life to the item's coverage index, which classifies each material into one of three risk zones. The methodology adopted was the development of a framework, validated through a proof-of-concept using a scenario comprising 16 materials distributed across four categories representative of typical industrial storerooms. The results demonstrate that the model can identify, quantify, and guide actions for materials at risk of expiration, transforming a problem that often remains invisible in reactive inventory management into a manageable, traceable process. In the simulated scenario, 29.3% of the total inventory value, equivalent to BRL 10,082.00, was at risk of expiring before consumption, a figure that would go undetected without a structured monitoring process. The model is complemented by a performance dashboard and execution support tools for each phase and is presented as a practical contribution to managers who face this challenge daily.

Keywords: inventory management; perishable inputs; expiration date; Expiration Risk Index; industrial storeroom.

SUMÁRIO

RESUMO 2
ABSTRACT 3
1. INTRODUÇÃO 5
2. REFERENCIAL TEÓRICO 6
2.1. PERECIBILIDADE POR DATA DE VENCIMENTO: CONCEITO E IMPLICAÇÕES PARA A GESTÃO DE ESTOQUES 6
2.2. PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO E SUA RELAÇÃO COM INSUMOS SUJEITOS A VENCIMENTO 8
2.3. ESTRATÉGIAS DE PREVENÇÃO, INTERVENÇÃO E MITIGAÇÃO DE PERDAS POR VENCIMENTO 10
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 12
3.1. DESCRIÇÃO DO CENÁRIO 12
3.2. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA 13
3.3. ETAPAS DO TRABALHO 14
4. RESULTADOS 15
4.1. CENÁRIO SIMULADO 15
4.2. DELIMITADORES DE ZONA: O ÍNDICE DE RISCO DE VENCIMENTO (IRV) 16
4.3. MACROPROCESSO DE GESTÃO 18
4.4. ESTRATÉGIAS GENÉRICAS POR FASE 19
4.5. TAREFAS E PROCESSOS POR FASE 20
4.6. FERRAMENTAS DE APOIO À EXECUÇÃO 23
4.7. DASHBOARD DE MONITORAMENTO 24
5. DISCUSSÕES 27
5.1. O QUE O MODELO REVELOU 27
5.2. COMPARATIVO: GESTÃO REATIVA VS GESTÃO ESTRUTURADA 28
5.3. LIMITAÇÕES 29
6. CONCLUSÃO 30
REFERÊNCIAS 32

1. INTRODUÇÃO

A gestão de estoques em ambientes industriais envolve decisões que vão muito além do simples controle de quantidades. Quando os materiais em estoque possuem prazo de validade, o problema ganha uma dimensão adicional: o tempo passa a operar contra o gestor. Insumos que vencem sem ser consumidos representam perda financeira direta, capital imobilizado sem retorno e, em muitos casos, interrupções na operação quando o material precisaria ser utilizado. Esse tipo de situação, frequente em plantas industriais de médio e grande porte, raramente recebe o tratamento sistemático que merece. A literatura consolidada em Engenharia de Produção oferece ferramentas robustas para a gestão de estoques, como políticas de ressuprimento, modelos de lote econômico, classificação ABC, entre outras (BALLOU, 2006; SLACK *et al*., 2009; CHOPRA; MEINDL, 2013). O problema é que essas ferramentas foram desenvolvidas, em sua maioria, para materiais com demanda relativamente previsível e sem restrição temporal de uso. Quando aplicadas a insumos perecíveis, mostram limitações que a própria literatura reconhece: os modelos clássicos não incorporam adequadamente o efeito do prazo de validade sobre as decisões de pedido e consumo (NAHMIAS, 2011).

Nos setores de alimentos, farmacêutico e hospitalar, o controle de validade é uma exigência regulatória, o que fez com que a produção acadêmica sobre estoques perecíveis se concentrasse nesses contextos. Uma revisão conduzida por Janssen *et al*. (2016) identificou que a vasta maioria dos modelos de gestão de perecíveis na literatura tem como objeto produtos alimentícios, hemoderivados ou medicamentos. Ahmadi *et al*. (2022) reforçam esse diagnóstico ao desenvolverem abordagens específicas para produtos farmacêuticos em cadeias de saúde, sem equivalente para insumos industriais. Esse padrão é corroborado por revisões sistemáticas mais amplas: Chaudhary, Kulshrestha e Routroy (2018), em levantamento de 418 estudos publicados entre 1990 e 2016, mapeiam a evolução e as lacunas de pesquisa da gestão de estoques perecíveis e confirmam a concentração da literatura em domínios consagrados de aplicação. Já nos ambientes manufatureiros, onde lubrificantes, produtos químicos de manutenção, materiais de laboratório e outros insumos com validade definida compõem os estoques, a sub-representação permanece. A demanda por esses materiais tende a ser irregular, especialmente quando associada a atividades de manutenção e consumo não contínuo. Além disso, os lotes de compra frequentemente são definidos por critérios econômicos e logísticos, o que pode ampliar o risco de vencimento quando a validade não é considerada explicitamente no processo de gestão (TUBINO, 2009; NAHMIAS, 2011).

Essa sub-representação tem consequências práticas. Sem processos estruturados de monitoramento e decisão, as ações tendem a permanecer reativas: o material é descartado após o vencimento, sem mecanismos que permitam antecipar o risco ou priorizar seu consumo antes que a perda se torne inevitável. Ahmadi *et al*. (2022) demonstram que políticas de gestão baseadas na idade do produto, como o *FEFO* (*First Expired, First Out*), podem reduzir significativamente as perdas por vencimento. Entretanto, a literatura oferece pouca orientação sobre como estruturar essas práticas no contexto de insumos industriais. Diante desse contexto, este trabalho busca responder à seguinte questão: como estruturar um modelo de gestão que acompanhe o ciclo de vida de insumos perecíveis em estoques industriais, orientando ações de prevenção, intervenção e mitigação de perdas de acordo com a fase em que cada material se encontra? O objetivo é desenvolver e avaliar preliminarmente esse *framework* por meio de uma prova de conceito, construída a partir de parâmetros representativos de ambientes industriais reais. O suporte às decisões se dá por meio de indicadores e relatórios de consumo, aproximando a proposta dos conceitos de sistemas de apoio à decisão discutidos por Laudon e Laudon (2020).

A contribuição esperada é dupla. No plano teórico, o trabalho adapta conceitos clássicos de gestão de estoques a um contexto que a literatura trata de forma marginal: o dos insumos perecíveis em ambientes industriais. No plano prático, oferece um modelo estruturado com potencial de ser adotado ou adaptado por gestores que enfrentam esse problema cotidianamente, contribuindo para a redução de perdas financeiras e o aumento da confiabilidade operacional dos estoques.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este referencial fundamenta os conceitos que sustentam o modelo proposto para a gestão de estoques de insumos perecíveis com restrição de validade em ambientes industriais. A revisão está organizada em três eixos complementares: os fundamentos teóricos da gestão de estoques perecíveis com prazo de vida fixo, a relação entre o Planejamento e Controle da Produção e os insumos sujeitos a vencimento, e as estratégias de prevenção, intervenção e mitigação de perdas.

2.1. PERECIBILIDADE POR DATA DE VENCIMENTO: CONCEITO E IMPLICAÇÕES PARA A GESTÃO DE ESTOQUES

Na literatura de gestão de operações, o conceito de perecibilidade abrange fenômenos distintos. Karaesmen, Scheller-Wolf e Deniz (2011) distinguem dois tipos fundamentais: a

deterioração contínua, em que a qualidade do item degrada progressivamente ao longo do tempo, e a perecibilidade por prazo fixo (*fixed shelf life*), em que o item mantém suas propriedades funcionais até uma data determinada, após a qual se torna inutilizável. O presente trabalho concentra-se nesse segundo tipo, que é característico de insumos industriais como lubrificantes, fluidos de corte, solventes e reagentes químicos, materiais que possuem data de vencimento estabelecida pelo fabricante e que, uma vez ultrapassada, não devem ser utilizados, independentemente de sua aparência física.

Nahmias (1982), em revisão seminal que permanece referência central na área, classificou os modelos de estoque para itens perecíveis com prazo fixo segundo a natureza da demanda, determinística ou estocástica, e o horizonte de planejamento. O autor demonstrou que a presença de um prazo máximo de uso altera estruturalmente as decisões de ressuprimento: estoques elevados passam a ser penalizados não apenas pelo custo de carregamento, mas também pelo risco de vencimento antes do consumo. Essa dupla pressão, entre garantir disponibilidade e evitar perdas por validade, é o núcleo do problema de gestão de perecíveis com prazo fixo.

No contexto industrial, essa dinâmica se manifesta de forma particular. Diferentemente de setores como alimentos e farmacêuticos, em que o controle de validade é exigência regulatória, nos almoxarifados industriais o monitoramento de prazos de vencimento frequentemente não está integrado aos sistemas de controle de estoque existentes. Como aponta Tubino (2009), a demanda por insumos de manutenção e apoio operacional tende a ser irregular e estritamente dependente do ritmo produtivo e de ocorrências corretivas ou preventivas. Essa irregularidade inerente ao ambiente fabril dificulta a calibração de políticas de ressuprimento quando associada à restrição de validade. Além disso, esses insumos são frequentemente adquiridos em lotes definidos por contratos ou conveniências logísticas, sem necessariamente considerar o prazo de consumo esperado, o que eleva o risco de acúmulo de materiais próximos ao vencimento sem qualquer mecanismo de alerta.

As perdas decorrentes desse cenário têm expressão financeira direta. Ballou (2006) aponta que custos de armazenagem, obsolescência e descarte podem superar o valor de aquisição dos itens quando não há controle adequado. Chopra e Meindl (2013) reforçam que o custo total de posse de um item em estoque inclui não apenas o custo de carregamento, mas também o risco associado à perda de valor, risco que, para perecíveis com prazo fixo, é temporalmente delimitado e, portanto, gerenciável se houver informação e processo

estruturado. O Quadro 1 sintetiza os principais tipos de custo associados à gestão desses insumos.

Quadro 1: Tipos de custos associados à gestão de insumos perecíveis com prazo fixo.

Tipo de custo	Descrição	Forma de estimar
Custo de capital	Valor imobilizado em estoque	Valor médio estocado × taxa de manutenção anual
Custo de armazenagem	Espaço, energia, mão de obra, controle ambiental	Custos diretos e operação do almoxarifado
Custo de risco (vencimento e descarte)	Perdas físicas e econômicas devido à expiração	Percentual médio de vencimento sobre o total comprado
Custo de falta	Impacto da indisponibilidade de insumos críticos	Estimado com base em atrasos e horas paradas

Fonte: Adaptado de Ballou (2006) e Chopra e Meindl (2013).

A revisão conduzida por Janssen, Claus e Sauer (2016), abrangendo a produção acadêmica entre 2012 e 2015 sobre modelos de estoques deterioráveis, identificou que a grande maioria dos estudos trata de contextos alimentícios, farmacêuticos ou hemoterápicos. Insumos industriais com prazo de vencimento fixo, que compartilham a mesma lógica operacional, mas operam em um ambiente de demanda mais irregular e menor rastreabilidade, permanecem sub-representados na literatura, o que justifica e motiva o desenvolvimento de modelos adaptados a esse contexto.

2.2. PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO E SUA RELAÇÃO COM INSUMOS SUJEITOS A VENCIMENTO

O Planejamento e Controle da Produção (PCP) tem como função central coordenar recursos, informações e prazos para garantir a continuidade operacional (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009). Tubino (2009) descreve o PCP como um sistema integrador que articula decisões de longo prazo, como políticas de ressuprimento e dimensionamento de estoques, com decisões de curto prazo, como sequenciamento do consumo e emissão de ordens. O Quadro 2 apresenta esses horizontes e seus instrumentos.

Quadro 2: Horizontes de decisão do PCP e instrumentos de apoio.

Horizonte	Decisões típicas	Instrumento de apoio
Longo prazo	Planejamento da capacidade e estratégia de produção	Plano estratégico, previsão de demanda
Médio prazo	Planejamento agregado, plano mestre de produção	MPS, MRP II
Curto prazo	Programação e controle da produção	APS, controle de ordens, indicadores operacionais

Fonte: Adaptado de Slack, Chambers e Johnston (2009) e Tubino (2009).

No contexto de insumos com data de vencimento, o PCP precisa incorporar uma variável que os modelos convencionais não contemplam: o tempo restante de vida útil de cada lote em estoque. Karaesmen, Scheller-Wolf e Deniz (2011) demonstram que a desconsideração dessa variável nas decisões de ressuprimento leva sistematicamente à formação de estoques com perfil de validade desfavorável, situação em que lotes adquiridos mais recentemente, com maior vida útil residual, coexistem com lotes antigos próximos ao vencimento, sem que haja priorização do consumo dos mais críticos.

A política de ressuprimento é o principal instrumento do PCP para equilibrar disponibilidade e custo em estoques convencionais. Ballou (2006) apresenta os modelos clássicos, ponto de reposição, lote econômico de compra (LEC) e revisão periódica, como fundamentos dessa gestão. Para insumos perecíveis com prazo fixo, esses modelos precisam ser ajustados: o lote de compra deve considerar não apenas o custo de pedido e de armazenagem, mas também a capacidade de consumo dentro da janela de validade. Patriarca *et al.* (2020) ilustram essa necessidade ao modelar o *Economic Order Quantity* (*EOQ)* com restrições de prazo máximo de uso para produtos perecíveis em condições de incerteza, demonstrando que o lote ótimo irrestrito frequentemente excede a capacidade de consumo dentro do prazo, gerando perdas evitáveis.

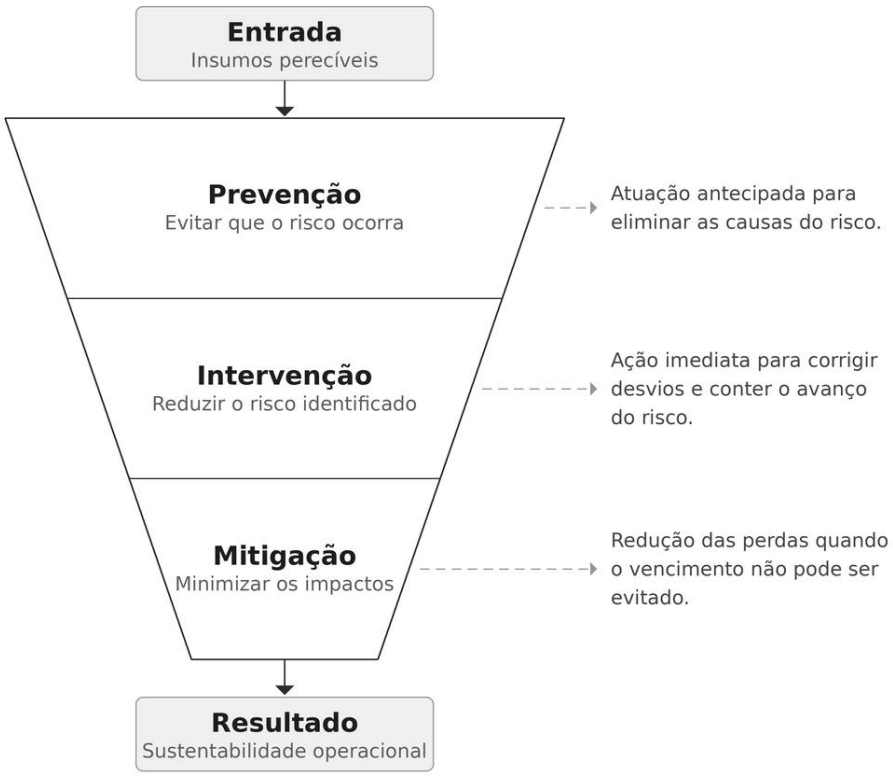
O controle operacional, por sua vez, é o mecanismo que assegura a execução conforme o planejado. Tubino (2009) define esse controle como a comparação sistemática entre o desempenho real e o previsto, com geração de ações corretivas. Para insumos com prazo fixo, o controle operacional deve incluir o monitoramento contínuo da validade residual de cada lote, viabilizando a priorização do consumo dos itens com menor tempo restante antes que o vencimento se torne inevitável. Laudon e Laudon (2020) enquadram esse tipo de

monitoramento na categoria de sistemas de apoio à decisão, que transformam dados operacionais em informações acionáveis para o gestor.

2.3. ESTRATÉGIAS DE PREVENÇÃO, INTERVENÇÃO E MITIGAÇÃO DE PERDAS POR VENCIMENTO

A gestão de perdas por vencimento em estoques industriais pode ser estruturada em três frentes de ação, organizadas hierarquicamente conforme o momento de atuação no ciclo de vida do insumo: prevenção, intervenção e mitigação. Essa hierarquia reflete um princípio operacional fundamental: a ação antecipada é sempre menos custosa do que a reativa, e orienta o macroprocesso proposto neste trabalho. A Figura 1 ilustra essa lógica.

Figura 1: Hierarquia das estratégias de gestão de perdas por vencimento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

As ações de prevenção atuam antes que o risco de vencimento se materialize, por meio de políticas de ressuprimento que consideram explicitamente a janela de validade dos insumos. O princípio central é simples: adquirir apenas o que pode ser consumido dentro do prazo, na quantidade e no momento certos. Nahmias (1982), ao revisar a literatura, destaca que, para itens com prazo fixo e demanda estocástica, a política ótima de pedido é sensível ao tempo restante

de vida útil do estoque disponível, o que significa que a decisão de quanto comprar não pode ser tomada de forma independente da informação sobre o perfil de validade do estoque existente. Na prática industrial, isso se traduz na necessidade de integrar os dados de validade dos lotes ao processo de planejamento de compras, evitando aquisições que resultem em acúmulo de materiais além da capacidade de consumo no prazo.

As ações de intervenção atuam quando o risco de vencimento já está presente no estoque, mas ainda é possível evitar a perda por meio da priorização do consumo. O método *FEFO (First Expired, First Out)* é o instrumento operacional central nessa fase: trata-se de uma política de emissão que determina que os itens com menor validade residual sejam consumidos primeiro, independentemente da ordem de entrada no estoque, reduzindo sistematicamente o risco de vencimento sem comprometer a disponibilidade. Essa lógica encontra respaldo teórico em Pierskalla e Roach (1972), que, ao derivar políticas ótimas de emissão para estoques perecíveis organizados por idade, demonstraram que emitir primeiro a unidade mais antiga capaz de atender à demanda, princípio do qual o *FEFO* é a aplicação direta quando a validade residual acompanha a idade do item, minimiza tanto as perdas por vencimento quanto a ocorrência de faltas, para a maioria das funções objetivo consideradas. A efetividade da intervenção depende, contudo, de que a informação sobre a validade de cada lote esteja disponível e atualizada no sistema de controle, condição inerente ao próprio caráter controlado da emissão.

As ações de mitigação são acionadas quando o vencimento já é inevitável ou iminente, e o objetivo passa a ser reduzir o impacto financeiro e operacional da perda. Nessa fase, as alternativas incluem a redistribuição de insumos entre setores ou unidades com maior ritmo de consumo, a antecipação de uso planejado antes do vencimento, a negociação de devolução ao fornecedor e, quando aplicável, a recuperação de valor dos itens já perecidos por meio de logística reversa. Quanto a esta última, Komijani e Sheikh Sajadieh (2024) propõem um modelo integrado de produção, estoque e roteirização para uma cadeia de suprimentos fechada e verde, no qual os itens perecidos são convertidos em matéria-prima para produtos secundários sob condições de incerteza quanto à vida útil, reduzindo o custo associado ao descarte. A mensuração dessas estratégias requer indicadores específicos, que traduzam o desempenho da gestão de validade em métricas objetivas. O Quadro 3 consolida os principais indicadores aplicáveis.

Quadro 3: Indicadores aplicados à gestão de perdas por vencimento em estoques industriais.

Indicador	Descrição / Fórmula	Aplicação na gestão de perecíveis
Taxa de vencimento	Percentual de itens que atingem o prazo de validade sobre o total movimentado no período. *(Itens vencidos ÷ itens totais) × 100*	Mede a eficiência das políticas de controle e planejamento; identifica perdas físicas.
Tempo médio de validade residual (TMVR)	Média dos dias de validade restante dos insumos disponíveis em estoque.	Avalia o grau de proximidade dos vencimentos e auxilia na priorização de consumo.
Freshness index (índice de frescor)	Proporção ponderada do estoque considerando a idade média dos itens em relação à validade total.	Indica a qualidade média dos insumos armazenados e o equilíbrio entre estoque e validade.
Taxa de reaproveitamento	Percentual de insumos reaproveitados ou reclassificados antes do vencimento.	Mede a efetividade das ações de mitigação e sustentabilidade operacional.
Loss rate (taxa de perda)	Percentual de valor perdido por vencimento em relação ao valor total de compras no período. *(Valor perdido ÷ Valor total comprado) × 100*	Mensura o impacto financeiro das perdas e a eficiência global da gestão.
Inventory turnover (giro de estoque)	Razão entre o consumo total e o estoque médio no período. *(Consumo ÷ Estoque médio)*	Indica a rotatividade dos insumos e sua compatibilidade com a validade média.
Acurácia do registro de validade	Percentual de divergência entre o registro no sistema e a validade real dos insumos.	Avalia a confiabilidade dos dados e o controle operacional do estoque.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Em síntese, a integração entre prevenção, intervenção e mitigação, sustentada por informação sobre validade e por indicadores de desempenho, permite uma gestão proativa dos insumos perecíveis com prazo fixo, reduzindo perdas e aumentando a confiabilidade operacional dos estoques industriais. Essa estrutura constitui o referencial conceitual sobre o qual o modelo proposto neste trabalho é desenvolvido.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo descreve os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento da pesquisa, detalhando sua classificação, a estratégia de investigação utilizada e as etapas seguidas para alcançar os objetivos propostos.

3.1. DESCRIÇÃO DO CENÁRIO

O trabalho é desenvolvido no contexto de um almoxarifado industrial de manufatura geral, responsável pelo armazenamento e fornecimento de insumos de apoio à produção e à manutenção. Por não se vincular a uma organização específica, o contexto é representado por um cenário construído com parâmetros típicos desse tipo de ambiente, de modo a reproduzir suas características operacionais essenciais.

O setor caracteriza-se pelo uso de insumos perecíveis com prazo de validade fixo definido pelo fabricante, conforme caracterizado na seção 2.1. O almoxarifado considerado reúne 16 insumos distribuídos em quatro categorias representativas: (1) lubrificantes; (2) fluidos e solventes; (3) reagentes e produtos químicos; e (4) vedantes, adesivos e selantes. Os prazos de validade variam de 6 a 60 meses e os perfis de consumo vão de regular a variável, irregular e esporádico, refletindo a heterogeneidade desses materiais. O valor total em estoque no período analisado é de R$ 34.393,00.

O processo em foco abrange o recebimento, a armazenagem, o controle de validade e o consumo desses insumos. Diferentemente dos setores alimentício e farmacêutico, em que o controle de validade é exigência regulatória, nos almoxarifados industriais esse monitoramento raramente está integrado aos sistemas de controle de estoque, e a demanda irregular dos insumos de manutenção dificulta o ajuste das políticas de ressuprimento.

É nesse contexto que se situa o problema estudado: a ocorrência de perdas por vencimento decorrentes da ausência de um processo estruturado e sensível à validade para o planejamento de ressuprimento e a priorização do consumo. Tais perdas geram impacto financeiro e operacional, mas permanecem majoritariamente invisíveis na gestão reativa, problema que o trabalho busca tornar gerenciável e rastreado.

3.2. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa classifica-se, quanto à natureza, como aplicada, pois parte de um problema identificado na prática da gestão industrial e busca propor uma solução estruturada com potencial de adoção em ambientes reais (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). Quanto à abordagem do problema, adota-se o enfoque quali-quantitativo, uma vez que o estudo combina a análise interpretativa de processos organizacionais, relações causais e estruturas decisórias com o tratamento quantitativo de dados de estoque, como o cálculo de indicadores (IC e IRV), a classificação por faixas numéricas e a mensuração financeira do risco, ainda que sem recorrer à inferência estatística como instrumento central de análise (FONSECA, 2002).

Em relação aos objetivos, a pesquisa caracteriza-se como descritiva, uma vez que analisa e caracteriza o fenômeno da gestão de insumos perecíveis em ambientes industriais, identificando suas etapas, lacunas e oportunidades de melhoria (GIL, 2002). Como desdobramento desse diagnóstico, o trabalho assume caráter propositivo, ao estruturar um *framework* com processos, delimitadores, estratégias e ferramentas de apoio à gestão do risco de vencimento. Quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa é predominantemente

bibliográfica, por fundamentar o *framework* na literatura especializada, complementada por um caráter experimental no sentido amplo, uma vez que o modelo é aplicado a um cenário simulado e controlado, no qual os parâmetros são manipulados para observar o comportamento do instrumento proposto (GIL, 2002).

3.3. ETAPAS DO TRABALHO

O desenvolvimento da pesquisa foi organizado em quatro etapas sequenciais, que conduzem da fundamentação teórica até a aplicação do modelo ao cenário construído. As etapas, suas atividades e os resultados esperados estão sintetizados no Quadro 4.

A primeira etapa consistiu na revisão da literatura sobre gestão de estoques de insumos perecíveis, com foco em modelos de prazo de validade fixo (*fixed shelf life*), políticas de ressuprimento sensíveis à validade, método *FEFO* e estratégias de mitigação de perdas. O objetivo foi reunir os conceitos e referências que fundamentam o modelo e evidenciar a lacuna existente na literatura para o contexto de insumos industriais.

A segunda etapa compreendeu a construção do cenário utilizado na aplicação. Foram definidos os parâmetros do almoxarifado, as categorias de insumos, os perfis de consumo e os prazos de validade por categoria, descritos na seção 3.1. O cenário foi deliberadamente calibrado para reproduzir situações representativas do problema, como excesso de estoque próximo ao vencimento, ausência de priorização pelo *FEFO* e inexistência de alertas antecipados, de modo a exercitar o modelo em condições relevantes.

Quadro 4: Etapas da pesquisa, atividades e resultados esperados.

Etapa	Atividades	Resultado esperado
1. Revisão da literatura	Levantamento de modelos de estoques perecíveis com prazo fixo, políticas FEFO e estratégias de mitigação de perdas	Fundamentação teórica e identificação da lacuna para insumos industriais
2. Construção do cenário simulado	Definição de parâmetros do almoxarifado, categorias de insumos, perfis de demanda e prazos de validade	Cenário representativo para aplicação e teste do modelo
3. Desenvolvimento do macroprocesso	Definição de delimitadores, estratégias, tarefas, ferramentas e dashboard por fase	Modelo estruturado com processos em BPMN e painel de indicadores
4. Aplicação e análise	Percurso do macroprocesso sobre o cenário simulado; verificação de coerência operacional e dos indicadores	Validação do modelo e discussão dos resultados

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A terceira etapa correspondeu ao desenvolvimento do modelo propriamente dito. Para cada uma das três fases de ação, prevenção, intervenção e mitigação, foram definidos o delimitador de entrada, as estratégias genéricas, as tarefas e processos detalhados e as ferramentas de apoio. Os processos foram representados em notação *Business Process Model and Notation (BPMN)*, e os indicadores de desempenho foram definidos e consolidados em um painel de monitoramento (*dashboard*).

A quarta etapa consistiu na aplicação do modelo ao cenário construído, a título de prova de conceito. O macroprocesso foi percorrido a partir dos dados do almoxarifado, verificando-se a coerência operacional de cada fase, a adequação dos delimitadores e a capacidade dos indicadores de refletir o desempenho da gestão de validade. Os resultados foram então analisados e discutidos, evidenciando as contribuições do modelo e suas limitações. O detalhamento de cada componente e os resultados obtidos são apresentados no Capítulo 4.

4. RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos em cada etapa dos procedimentos metodológicos descritos no Capítulo 3, seguindo a ordem ali definida. Primeiro, descreve-se o cenário simulado construído para a aplicação do modelo. Em seguida, apresenta-se o desenvolvimento do macroprocesso e de seus componentes, delimitadores de zona, estratégias genéricas, tarefas e processos, ferramentas de apoio e *dashboard* de monitoramento. Por fim, relata-se a aplicação do modelo ao cenário, com a análise dos resultados e a discussão das limitações identificadas.

4.1. CENÁRIO SIMULADO

A partir do contexto descrito na seção 3.1, o cenário foi operacionalizado em um conjunto de 16 insumos, para os quais se definiram os parâmetros necessários ao cálculo dos indicadores do modelo: código de identificação, descrição, categoria, validade total (em meses), unidade de medida, consumo médio mensal, estoque atual, validade residual no mês de referência, preço unitário e valor total em estoque. O Quadro 5 apresenta o cenário completo.

A composição reproduz a heterogeneidade característica desses ambientes. Os prazos de validade variam de 6 meses, no caso de reagentes de laboratório, a 60 meses, para a fita de vedação *PTFE*; e os perfis de consumo abrangem desde demanda regular (lubrificantes) até variável (fluidos e solventes), irregular (reagentes) e esporádica (vedantes e selantes). Essa diversidade é deliberada: ela permite que o modelo seja exercitado sobre itens com diferentes

combinações de validade e ritmo de consumo, condição necessária para avaliar sua capacidade de discriminar níveis de risco.

O valor total em estoque no mês de referência é de R$ 34.393,00, distribuído entre as quatro categorias. O cenário foi calibrado para conter, de forma proposital, situações representativas do problema: itens com folga de validade, itens com margem reduzida e itens cujo vencimento tende a ocorrer antes do consumo, de modo que a aplicação do modelo, apresentada nas seções seguintes, possa ser avaliada em condições relevantes.

Quadro 5: Parâmetros de simulação.

Código	Insumo	Categoria	Validade total (meses)	Unidade	Consumo/mês	Estoque atual	Validade residual (meses)	Preço unitário	Valor em estoque
INS-01	Óleo lubrificante ISO 46	Lubrificantes	24	L	80	200	14	R$ 18,00	R$ 3.600,00
INS-02	Óleo hidráulico ISO 68	Lubrificantes	24	L	50	180	9	R$ 22,00	R$ 3.960,00
INS-03	Graxa de lítio EP2	Lubrificantes	18	kg	15	60	5	R$ 32,00	R$ 1.920,00
INS-04	Graxa de cálcio multiuso	Lubrificantes	18	kg	8	40	3	R$ 28,00	R$ 1.120,00
INS-05	Fluido de corte solúvel	Fluidos e solventes	12	L	40	110	8	R$ 24,00	R$ 2.640,00
INS-06	Fluido de arrefecimento industrial	Fluidos e solventes	12	L	30	95	4	R$ 19,00	R$ 1.805,00
INS-07	Solvente de limpeza industrial	Fluidos e solventes	12	L	25	90	5	R$ 28,00	R$ 2.520,00
INS-08	Álcool isopropílico 99,5%	Fluidos e solventes	24	L	12	50	11	R$ 35,00	R$ 1.750,00
INS-09	Reagente de ensaio pH	Reagentes e produtos químicos	6	fr	8	30	1,5	R$ 85,00	R$ 2.550,00
INS-10	Solução tampão pH 7,0	Reagentes e produtos químicos	6	fr	6	22	3	R$ 62,00	R$ 1.364,00
INS-11	Detergente alcalino industrial	Reagentes e produtos químicos	18	L	20	70	7	R$ 41,00	R$ 2.870,00
INS-12	Inibidor de corrosão concentrado	Reagentes e produtos químicos	12	L	10	45	1	R$ 76,00	R$ 3.420,00
INS-13	Selante anaeróbico (fixação)	Vedantes, adesivos e selantes	18	tb	10	35	8	R$ 42,00	R$ 1.470,00
INS-14	Adesivo epóxi estrutural	Vedantes, adesivos e selantes	12	tb	6	28	4	R$ 58,00	R$ 1.624,00
INS-15	Silicone de alta temperatura	Vedantes, adesivos e selantes	12	tb	8	30	5	R$ 38,00	R$ 1.140,00
INS-16	Fita de vedação PTFE industrial	Vedantes, adesivos e selantes	60	rl	15	80	36	R$ 8,00	R$ 640,00
							Valor total em estoque		**R$ 34.393,00**

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.2. DELIMITADORES DE ZONA: O ÍNDICE DE RISCO DE VENCIMENTO (IRV)

O primeiro componente do modelo é o delimitador de zona, que define o critério operacional de classificação de cada insumo em uma das três fases de ação do macroprocesso. Com base nos conceitos de validade residual e índice de cobertura presentes na literatura (NAHMIAS, 1982; KARAESMEN; SCHELLER-WOLF; DENIZ, 2011), este trabalho propõe o Índice de Risco de Vencimento (IRV) como instrumento de classificação operacional, definido pela razão entre a validade residual do lote e o índice de cobertura do item.

O Índice de Cobertura (IC) representa quantos meses o estoque atual cobre ao ritmo de consumo corrente, e é calculado pela divisão do estoque atual pelo consumo médio mensal. O IRV é então obtido pela divisão da validade residual pelo IC, conforme apresentado no Quadro 6. Quando IRV = 1,0, o estoque vence exatamente no mesmo mês em que seria consumido ao ritmo atual, ponto que define o limiar crítico do modelo. Valores abaixo de 1,0 indicam que o vencimento ocorrerá antes do consumo total do estoque disponível.

Quadro 6: Índice de cobertura (IC), Índice de risco de vencimento (IRV), e critérios de zona.

Índice de Cobertura (IC):	(Estoque atual / Consumo)
Índice de Risco de Vencimento (IRV):	(Validade residual / IC)

Zona	IRV
Prevenção	IRV > 1,5
Intervenção	1,0 < IRV ≤ 1,5
Mitigação	IRV ≤ 1,0

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A partir desse referencial, o modelo estabelece três zonas de risco com critérios operacionais objetivos: a zona de prevenção, para itens com IRV superior a 1,5, nos quais o estoque é suficiente para consumo dentro do prazo com margem de segurança; a zona de intervenção, para itens com IRV entre 1,0 e 1,5, nos quais a margem de segurança está reduzida e ações de priorização de consumo são necessárias; e a zona de mitigação, para itens com IRV igual ou inferior a 1,0, nos quais o vencimento antes do consumo é esperado ao ritmo atual.

Aplicado ao cenário simulado, o IRV resultou na classificação de sete itens na zona de prevenção, quatro na zona de intervenção e cinco na zona de mitigação, conforme detalhado no Quadro 7. Os dois itens com IRV mais baixo, INS-12 (IRV = 0,22) e INS-09 (IRV = 0,40), representam os casos de maior urgência operacional no cenário avaliado.

Quadro 7: Resultado de classificação por zona.

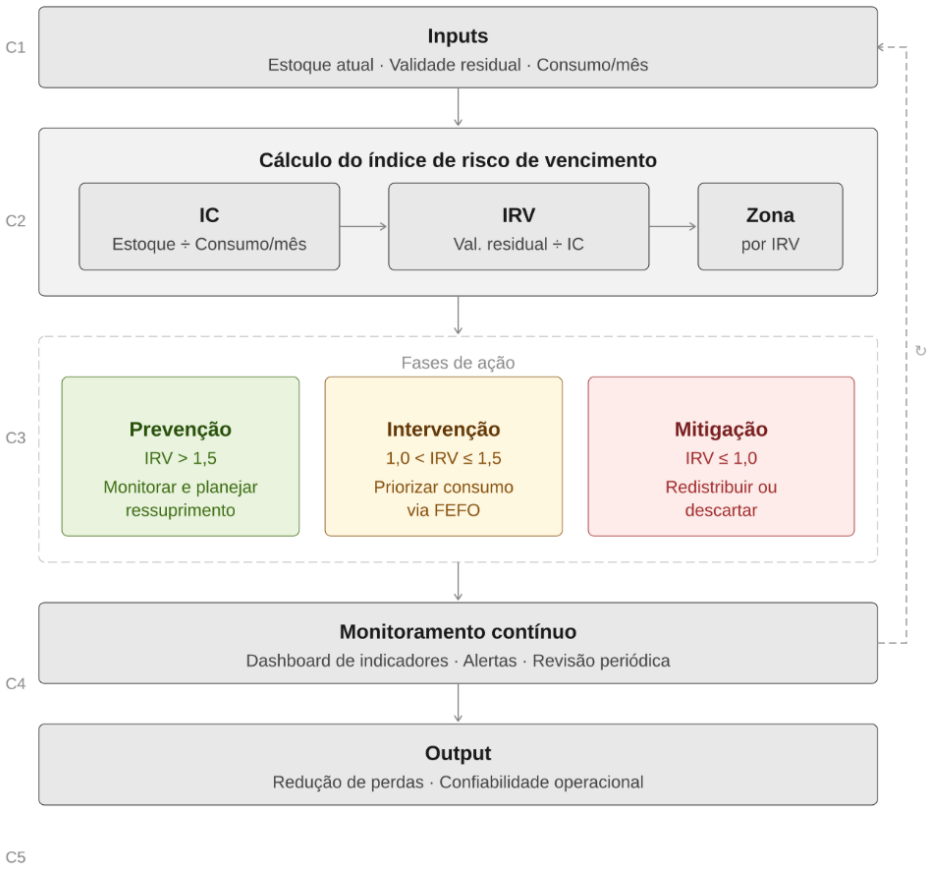
Código	IC	IRV	Zona
INS-01	2,50	5,60	Prevenção
INS-02	3,60	2,50	Prevenção
INS-03	4,00	1,25	Intervenção
INS-04	5,00	0,60	Mitigação
INS-05	2,75	2,91	Prevenção
INS-06	3,17	1,26	Intervenção
INS-07	3,60	1,39	Intervenção
INS-08	4,17	2,64	Prevenção
INS-09	3,75	0,40	Mitigação
INS-10	3,67	0,82	Mitigação
INS-11	3,50	2,00	Prevenção
INS-12	4,50	0,22	Mitigação
INS-13	3,50	2,29	Prevenção
INS-14	4,67	0,86	Mitigação
INS-15	3,75	1,33	Intervenção
INS-16	5,33	6,75	Prevenção

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.3. MACROPROCESSO DE GESTÃO

O macroprocesso proposto estrutura a gestão de estoques de insumos perecíveis em cinco camadas funcionais, organizadas de forma hierárquica e com ciclo de retroalimentação contínuo. A Figura 2 apresenta o diagrama consolidado do macroprocesso.

Figura 2: Diagrama macroprocesso.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A primeira camada corresponde aos *inputs* do sistema: estoque atual, validade residual e consumo médio mensal de cada item. Esses dados alimentam a segunda camada, dedicada ao cálculo do IRV, que envolve o cômputo sequencial do IC e do IRV e resulta na classificação de cada item por zona de risco. A terceira camada compreende as três fases de ação: prevenção, intervenção e mitigação, acionadas de acordo com a zona em que cada item foi classificado. A quarta camada é o monitoramento contínuo, operacionalizado por meio do *dashboard* de indicadores e de revisões periódicas do IRV. A quinta camada representa o *output* esperado do sistema: redução de perdas por vencimento e aumento da confiabilidade operacional dos estoques.

O ciclo de retroalimentação, indicado pela seta tracejada na Figura 2, conecta a camada de monitoramento de volta aos *inputs*, assegurando que as informações geradas pelo acompanhamento contínuo do estoque realimentem o processo de cálculo e classificação a cada revisão. Essa estrutura reflete o princípio de controle operacional descrito por Tubino (2009), segundo o qual o controle efetivo exige a comparação sistemática entre o desempenho real e o previsto, com geração de ações corretivas.

4.4. ESTRATÉGIAS GENÉRICAS POR FASE

Para cada fase do macroprocesso, o modelo define um conjunto de estratégias genéricas: diretrizes de ação que orientam o que fazer em cada zona, sem prescrever ainda o detalhamento de tarefas. O Quadro 8 apresenta as 13 estratégias definidas, distribuídas entre as três zonas.

Na fase de prevenção, as quatro estratégias visam evitar que o risco de vencimento se materialize: calibrar o lote de compra pela janela de validade, estabelecer frequência de revisão do IRV por categoria, integrar dados de validade ao planejamento de ressuprimento e definir estoque máximo por item com base no consumo médio e na validade total. Essas estratégias estão alinhadas ao princípio demonstrado por Nahmias (1982), segundo o qual a política ótima de pedido para itens com prazo fixo deve ser sensível ao tempo restante de vida útil do estoque disponível.

Quadro 8: Estratégias genéricas por fase.

Fase	Nº	Estratégia Genérica
Prevenção IRV > 1,5	**P1**	Calibrar o lote de compra pela janela de validade, nunca adquirir além da capacidade de consumo dentro do prazo.
	P2	Estabelecer frequência de revisão do IRV por categoria de insumo.
	P3	Integrar dados de validade ao planejamento de ressuprimento.
	P4	Definir estoque máximo por item com base no consumo médio e na validade total.
Intervenção 1,0 < IRV ≤ 1,5	**I1**	Aplicar FEFO como política obrigatória de movimentação de estoque.
	I2	Emitir alerta formal ao responsável pelo almoxarifado.
	I3	Antecipar consumo planejado para itens em zona de atenção.
	I4	Suspender temporariamente novas aquisições do item até normalização do IRV.
Mitigação IRV ≤ 1,0	**M1**	Redistribuir o insumo para setores com maior ritmo de consumo.
	M2	Acionar fornecedor para verificar possibilidade de devolução ou troca.
	M3	Avaliar uso alternativo do insumo em processos secundários.
	M4	Registrar e contabilizar a perda para fins de indicadores e rastreabilidade.
	M5	Revisar a política de compra do item para evitar recorrência.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Na fase de intervenção, as quatro estratégias concentram-se na priorização do consumo dos itens em risco: aplicar o *FEFO* como política obrigatória de movimentação, emitir alerta formal ao responsável pelo almoxarifado, antecipar consumo planejado e suspender temporariamente novas aquisições do item até a normalização do IRV. A centralidade do *FEFO* nessa fase é respaldada por Ahmadi *et al.* (2022), que demonstram que políticas de gestão baseadas na idade do produto reduzem perdas por vencimento de forma significativa.

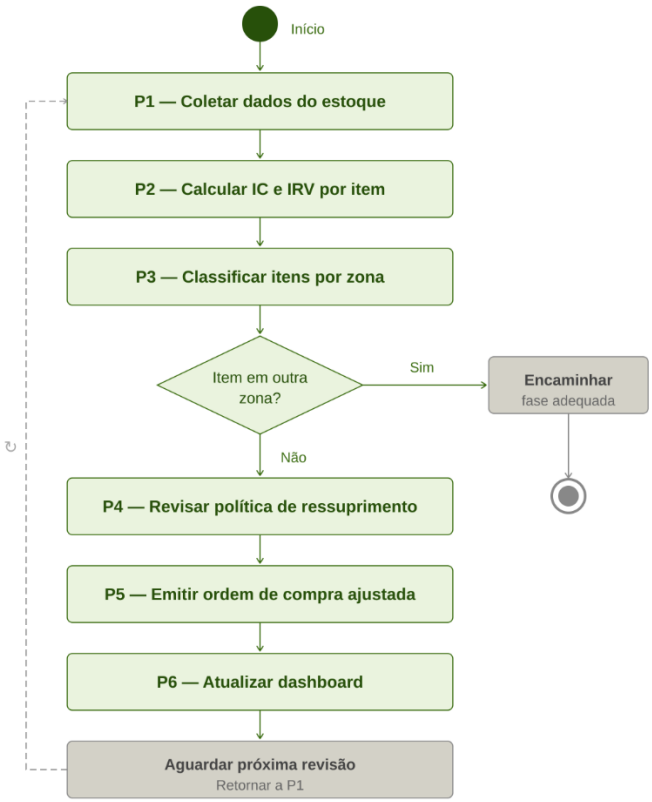
Na fase de mitigação, as cinco estratégias atuam sobre a redução do impacto quando o vencimento é iminente: redistribuir o insumo para setores com maior ritmo de consumo, acionar o fornecedor para verificar devolução ou troca, avaliar uso alternativo em processos secundários, registrar e contabilizar a perda para fins de rastreabilidade, e revisar a política de compra do item para evitar recorrência. A incorporação de logística reversa nessa fase, representada pelas estratégias de redistribuição e acionamento do fornecedor, é sustentada por Komijani e Sheikh Sajadieh (2024).

4.5. TAREFAS E PROCESSOS POR FASE

O detalhamento operacional de cada fase é apresentado por meio de diagramas de processo em notação *BPMN*, que descrevem as tarefas sequenciais, os pontos de decisão e os fluxos de encaminhamento entre fases. As Figuras 3, 4 e 5 apresentam os diagramas individuais de prevenção, intervenção e mitigação, respectivamente.

A fase de prevenção compreende seis tarefas: coleta de dados do estoque, cálculo do IC e do IRV por item, classificação por zona, revisão da política de ressuprimento, emissão da ordem de compra ajustada e atualização do *dashboard*. O processo inclui um ponto de decisão que verifica se algum item migrou para zona de intervenção ou mitigação durante a revisão, encaminhando-o para a fase correspondente quando necessário. Ao final, o processo retorna ao início por meio de um ciclo de revisão periódica.

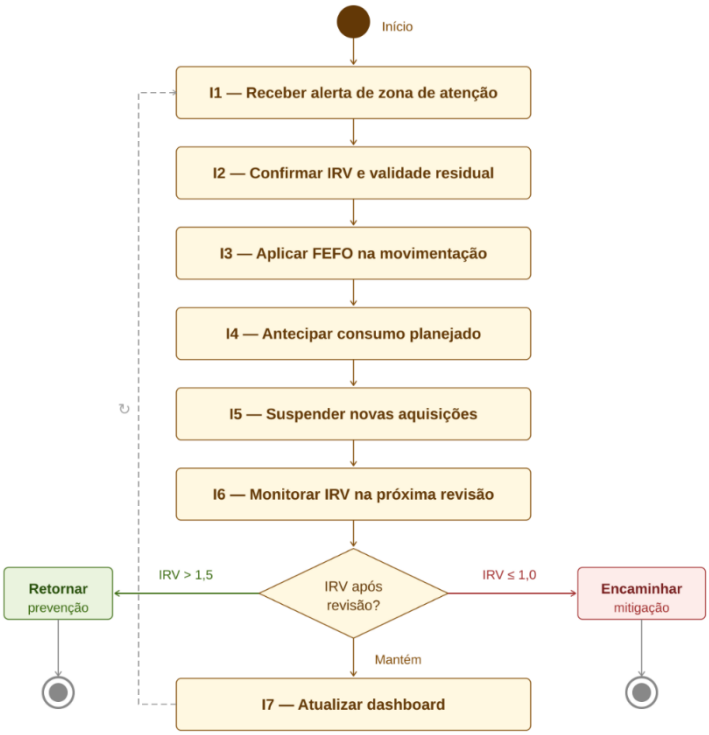
Figura 3: Fluxograma processo de prevenção.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A fase de intervenção compreende sete tarefas, iniciadas pelo recebimento do alerta de zona de atenção: confirmação do IRV e da validade residual, aplicação do *FEFO*, antecipação do consumo planejado, suspensão de novas aquisições, monitoramento do IRV na revisão seguinte e atualização do *dashboard*. O processo inclui um ponto de decisão após o monitoramento: se o IRV normalizar acima de 1,5, o item retorna à fase de prevenção; se piorar abaixo de 1,0, é encaminhado à mitigação; se permanecer na faixa de intervenção, o ciclo se repete.

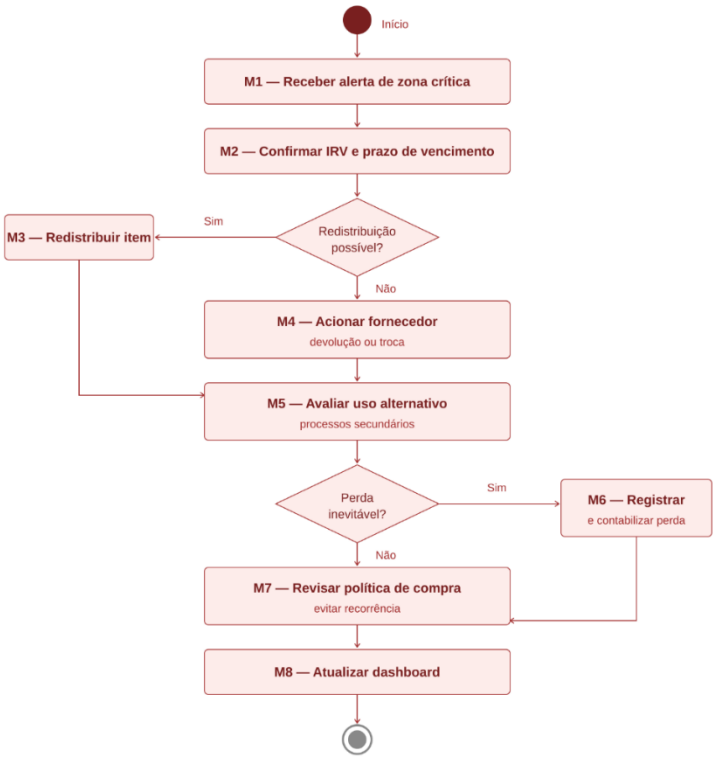
Figura 4: Fluxograma processo de intervenção.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A fase de mitigação é a mais ramificada, com oito tarefas e dois pontos de decisão. O primeiro avalia se a redistribuição do insumo para outros setores é viável; o segundo, se a perda é inevitável após as tentativas de redistribuição, acionamento do fornecedor e uso alternativo. Quando a perda é inevitável, o modelo prescreve o registro formal e a contabilização do descarte antes da revisão da política de compra e da atualização do *dashboard*.

Figura 5: Fluxograma processo de mitigação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.6. FERRAMENTAS DE APOIO À EXECUÇÃO

Para cada etapa do macroprocesso, o modelo recomenda ferramentas de apoio à execução e ao monitoramento, organizadas por fase no Quadro 9. As ferramentas recomendadas incluem instrumentos já consagrados na literatura de gestão de operações, adaptados ao contexto de insumos perecíveis com prazo fixo.

Na fase de prevenção, as ferramentas centrais são a planilha de controle de validade por lote, a fórmula automatizada de cálculo do IRV, a formatação condicional por faixa de IRV para classificação visual imediata, o Lote Econômico de Compra ajustado à janela de validade (BALLOU, 2006) e o ponto de reposição com restrição de validade. O *dashboard* de indicadores fecha a fase como instrumento de monitoramento geral.

Na fase de intervenção, destacam-se o alerta automático por *threshold* de IRV, o *checklist* de movimentação *FEFO* por lote e a previsão de demanda por média móvel ou suavização exponencial para apoiar a antecipação de consumo. O gráfico de evolução do IRV ao longo do tempo complementa o monitoramento da fase.

Quadro 9: Ferramentas de apoio à execução.

Fase	Etapa do processo	Ferramenta recomendada
Prevenção IRV > 1,5	Coletar dados do estoque	Planilha de controle de validade (registro por lote)
	Calcular IC e IRV	Fórmula automatizada em planilha (Excel / Google Sheets)
	Classificar itens por zona	Formatação condicional por faixa de IRV
	Revisar política de ressuprimento	Lote Econômico de Compra (LEC/EOQ) ajustado à validade
	Emitir ordem de compra	Ponto de reposição com restrição de validade
	Monitoramento geral	Dashboard de indicadores (Power BI / Excel)
Intervenção 1,0 < IRV ≤ 1,5	Receber alerta	Alerta automático por threshold de IRV (planilha ou sistema)
	Confirmar IRV	Recálculo automático na revisão periódica
	Aplicar FEFO	Checklist de movimentação FEFO por lote
	Antecipar consumo	Previsão de demanda (média móvel / suavização exponencial)
	Suspender aquisições	Bloqueio de pedido por regra no sistema de compras
	Monitorar IRV	Gráfico de evolução do IRV ao longo do tempo
Mitigação IRV ≤ 1,0	Receber alerta crítico	Alerta de zona crítica com destaque visual no dashboard
	Avaliar redistribuição	Mapa de setores consumidores (planilha de alocação)
	Acionar fornecedor	Checklist de acionamento e registro de contato
	Avaliar uso alternativo	Matriz de compatibilidade de insumos por processo
	Registrar perda	Formulário de registro de descarte com rastreabilidade
	Revisar política de compra	Análise de causa raiz (Diagrama de Ishikawa / 5 Porquês)
	Monitoramento geral	Relatório de perdas por vencimento (mensal)

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Na fase de mitigação, as ferramentas recomendadas incluem o mapa de setores consumidores para apoiar a redistribuição, o *checklist* de acionamento de fornecedor, a matriz de compatibilidade de insumos por processo para avaliação de uso alternativo, o formulário de registro de descarte com rastreabilidade e o relatório mensal de perdas por vencimento. A análise de causa raiz por *Diagrama de Ishikawa* ou *5 Porquês* é recomendada para embasar a revisão da política de compra após cada ocorrência de mitigação.

4.7. DASHBOARD DE MONITORAMENTO

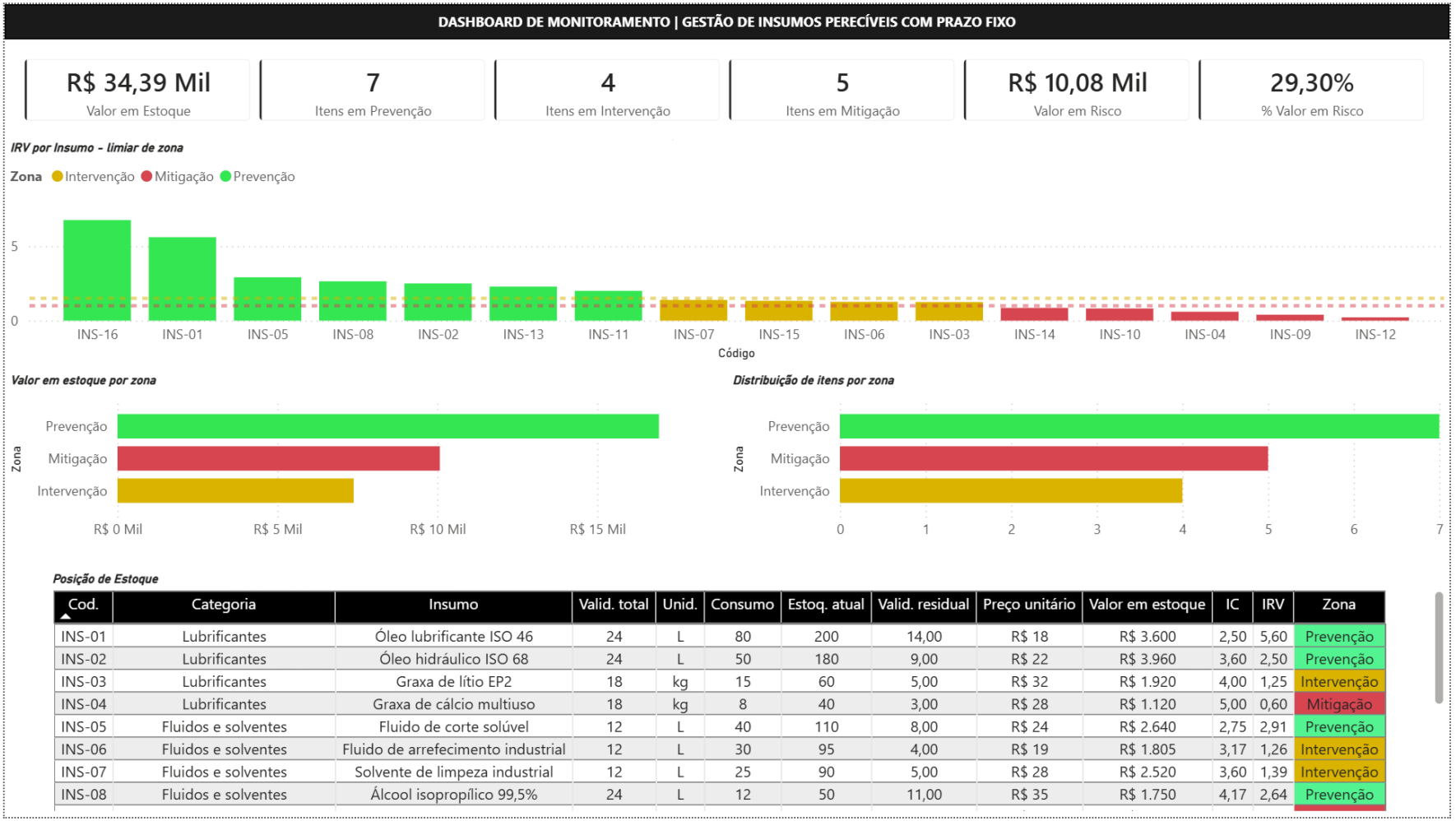
O *dashboard* de monitoramento foi desenvolvido para consolidar as métricas de desempenho da gestão de validade em um painel único, permitindo o acompanhamento contínuo do macroprocesso e a geração de alertas para tomada de decisão. O painel foi estruturado com base nos dados do cenário simulado e é apresentado na Figura 6.

O *dashboard* é organizado em três camadas de informação. A primeira camada, no topo do painel, apresenta seis indicadores-chave: valor total em estoque, número de itens em cada zona de risco e valor em risco na zona de mitigação com o respectivo percentual sobre o total. No cenário simulado, o valor em risco identificado é de R$ 10.082,00, representando 29,3% do valor total em estoque, grandeza que permaneceria invisível em um ambiente sem processo estruturado de monitoramento.

A segunda camada apresenta três visualizações gráficas: o gráfico de barras do IRV por item, ordenado do maior para o menor valor e com linhas de referência tracejadas nos limiares 1,0 e 1,5; e dois gráficos de distribuição, por número de itens e por valor em estoque, separados por zona. A terceira camada exibe a tabela completa de posição de estoque, com todos os parâmetros calculados e a zona de cada item destacada por formatação condicional.

O *dashboard* foi construído de forma dinâmica, de modo que qualquer atualização nos dados da aba de base recalcula automaticamente todos os indicadores, gráficos e classificações. Laudon e Laudon (2020) enquadram esse tipo de ferramenta na categoria de sistemas de apoio à decisão, que transformam dados operacionais em informações acionáveis para o gestor, função que o painel cumpre ao traduzir o IRV de cada item em uma prescrição de ação imediata.

Figura 6: Dashboard de monitoramento.



Cod.	Categoria	Insumo	Valid. total	Unid.	Consumo	Estoq. atual	Valid. residual	Preço unitário	Valor em estoque	IC	IRV	Zona
INS-01	Lubrificantes	Óleo lubrificante ISO 46	24	L	80	200	14,00	R$ 18	R$ 3.600	2,50	5,60	Prevenção
INS-02	Lubrificantes	Óleo hidráulico ISO 68	24	L	50	180	9,00	R$ 22	R$ 3.960	3,60	2,50	Prevenção
INS-03	Lubrificantes	Graxa de lítio EP2	18	kg	15	60	5,00	R$ 32	R$ 1.920	4,00	1,25	Intervenção
INS-04	Lubrificantes	Graxa de cálcio multiuso	18	kg	8	40	3,00	R$ 28	R$ 1.120	5,00	0,60	Mitigação
INS-05	Fluidos e solventes	Fluido de corte solúvel	12	L	40	110	8,00	R$ 24	R$ 2.640	2,75	2,91	Prevenção
INS-06	Fluidos e solventes	Fluido de arrefecimento industrial	12	L	30	95	4,00	R$ 19	R$ 1.805	3,17	1,26	Intervenção
INS-07	Fluidos e solventes	Solvente de limpeza industrial	12	L	25	90	5,00	R$ 28	R$ 2.520	3,60	1,39	Intervenção
INS-08	Fluidos e solventes	Álcool isopropílico 99,5%	24	L	12	50	11,00	R$ 35	R$ 1.750	4,17	2,64	Prevenção

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

5. DISCUSSÕES

Este capítulo discute os resultados obtidos com a aplicação do modelo ao cenário simulado, apresentados no Capítulo 4, interpretando seu significado à luz do problema de pesquisa e da literatura revisada. A discussão está organizada em três frentes. Primeiro, examina-se o que a aplicação do modelo revelou sobre o cenário analisado, consolidando a classificação dos insumos por zona de risco e o valor financeiro exposto ao vencimento. Em seguida, contrasta-se o comportamento prescrito pelo modelo com o de uma gestão reativa, evidenciando as transformações que a abordagem estruturada introduz na visibilidade, na antecipação e na rastreabilidade das perdas. Por fim, explicitam-se as limitações do modelo e da prova de conceito, delimitando o escopo de validade dos achados e apontando direções para pesquisas futuras.

5.1. O QUE O MODELO REVELOU

A aplicação do modelo ao cenário simulado permitiu verificar sua coerência operacional e identificar os principais resultados esperados. O Quadro 10 apresenta os resultados consolidados da aplicação.

Quadro 10: Resultados da simulação.

O que o modelo revelou			
Indicador	**Resultado apurado**	**Itens envolvidos**	**Ação prescrita**
Distribuição por zona de risco	7 em Prevenção 4 em Intervenção 5 em Mitigação	Todos os 16 insumos classificados	Monitorar, intervir e mitigar conforme zona
Valor total em estoque mapeado	R$ 34.393,00	16 insumos, 4 categorias	Base para cálculo de exposição financeira
Valor em zona de Mitigação (risco imediato)	R$ 10.082,00 (29,3% do total)	INS-04, INS-09, INS-10, INS-12, INS-14	Ação emergencial imediata: redistribuir, acionar fornecedor ou registrar perda
Itens com IRV crítico (IRV < 0,5)	2 itens identificados	INS-09 (IRV = 0,40) INS-12 (IRV = 0,22)	Prioridade máxima de mitigação: vencimento iminente
Itens em zona de Intervenção	R$ 8.905,00 (25,9% do total)	INS-03, INS-06, INS-07, INS-15	Aplicar FEFO, antecipar consumo e suspender novas aquisições
Cobertura do modelo	100% dos insumos classificados com IRV calculado	Todos os 16 itens	Nenhum item sem classificação de risco

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A classificação completa do estoque por zona de risco foi a primeira contribuição imediata. Dos 16 insumos avaliados, sete foram classificados na zona de prevenção, quatro na zona de intervenção e cinco na zona de mitigação. Essa distribuição revela que 56,25% dos itens, e aproximadamente 55,2% do valor total em estoque, demandam algum nível de ação

imediata ou de atenção elevada, o que evidencia a relevância prática do modelo para o contexto simulado.

O valor total exposto na zona de mitigação é de R$ 10.082,00, correspondente a 29,3% do estoque total. Entre os cinco itens nessa zona, dois apresentam IRV crítico inferior a 0,5: o Inibidor de corrosão concentrado (INS-12, IRV = 0,22) e o Reagente de ensaio pH (INS-09, IRV = 0,40). Para esses itens, o modelo prescreve ação emergencial imediata, redistribuição, acionamento do fornecedor ou registro de perda, pois o vencimento antes do consumo é praticamente certo ao ritmo atual.

Os quatro itens em zona de intervenção, que somam R$ 8.905,00, ainda possuem margem de ação. A aplicação do *FEFO*, a antecipação de consumo e a suspensão temporária de novas aquisições são as estratégias prescritas pelo modelo para essa faixa, com potencial de evitar a migração desses itens para a zona de mitigação na próxima revisão.

5.2. COMPARATIVO: GESTÃO REATIVA VS GESTÃO ESTRUTURADA

O Quadro 11 confronta o comportamento esperado em um cenário hipotético de gestão reativa, sem processos formalizados de controle de validade, com o comportamento prescrito pelo modelo proposto em sete dimensões de análise.

Quadro 11: Comparação modo de gestão.

Gestão reativa (sem modelo) vs gestão estruturada (com modelo)			
Dimensão de análise	**Sem o modelo (gestão reativa)**	**Com o modelo (gestão estruturada)**	**Impacto esperado**
Visibilidade sobre risco de vencimento	Nenhuma. Itens sem classificação de risco ou monitoramento de IRV	Total. Todos os itens classificados por zona com IRV calculado	Eliminação do ponto cego operacional
Identificação de valor em risco	R$ 0,00 identificado (perda ocorre sem antecipação)	R$ 10.082,00 identificados na zona de mitigação	Possibilidade de evitar ou reduzir perdas antes do vencimento
Política de movimentação de estoque	FIFO informal, sem critério de validade residual	FEFO formalizado com checklist por lote na zona de intervenção	Redução do risco de consumir itens com maior validade primeiro
Política de ressuprimento	Lote definido por conveniência logística ou contrato	Lote ajustado ao LEC com restrição de validade (janela de consumo)	Redução do acúmulo de estoque além da capacidade de consumo
Capacidade de antecipação de perdas	Nenhuma. Descarte ocorre após o vencimento	Alertas por zona acionam ações antes do vencimento (prevenção e intervenção)	Transformação de perdas reativas em ações proativas
Rastreabilidade de perdas	Sem registro formal. Perdas não são contabilizadas	Registro obrigatório na fase de mitigação com rastreabilidade por lote	Base para melhoria contínua e revisão de políticas
Indicadores de desempenho	Inexistentes. Sem KPIs de gestão de validade	IRV, IC, taxa de vencimento, valor em risco e taxa de reaproveitamento monitorados	Gestão orientada por dados com revisão periódica

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A diferença mais expressiva reside na visibilidade sobre o risco. Na gestão reativa, nenhum dos 16 itens possui classificação formal de risco, e as perdas por vencimento ocorrem

sem antecipação ou registro sistemático. O modelo transforma esse problema invisível em um problema gerenciável: o gestor passa a saber quais itens estão em risco, qual o valor exposto e qual ação é prescrita para cada caso em cada ciclo de revisão.

A capacidade de antecipação é a segunda diferença estrutural. Na gestão reativa, o descarte é o único procedimento formal, e ocorre após o vencimento, quando a perda já é irreversível. O modelo estabelece três frentes de ação anteriores ao vencimento: prevenção, intervenção e mitigação, transformando perdas reativas em oportunidades de ação proativa. Essa hierarquia é consistente com o princípio operacional identificado por Nahmias (1982), segundo o qual a presença de um prazo máximo de uso deve alterar estruturalmente as decisões de ressuprimento e consumo.

A rastreabilidade, ausente na gestão reativa, é um ganho estrutural adicional. O modelo prevê o registro formal de toda perda na fase de mitigação, com identificação do item, do lote e do valor descartado. Esse registro alimenta os indicadores de desempenho e viabiliza a revisão das políticas de compra dos itens com histórico recorrente de perdas, fechando o ciclo de melhoria contínua que o macroprocesso pressupõe.

5.3. LIMITAÇÕES

O modelo apresenta limitações que decorrem tanto da natureza ilustrativa da prova de conceito quanto de simplificações metodológicas adotadas, detalhadas no Quadro 12.

Quadro 12: Limitações do modelo.

Limitações do modelo e recomendações para implementação		
Aspecto	**Limitação identificada**	**Recomendação**
Cenário simulado	Parâmetros de consumo estáveis; demanda real é mais volátil	Revisar limiares de IRV com dados históricos reais antes da implantação
Limiares do IRV	Valores 1,0 e 1,5 propostos; não validados empiricamente	Calibrar limiares por categoria de insumo em uso real
Integração sistêmica	Modelo operado em planilha; limitação de automação e escala	Integrar ao ERP ou WMS para alerta automático e rastreabilidade
Demanda irregular	IRV assume consumo médio constante; não captura picos ou paradas	Incorporar previsão de demanda por suavização exponencial
Abrangência	Modelo cobre insumos com prazo fixo; não se aplica a deterioração contínua	Delimitar claramente o escopo de aplicação no almoxarifado

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A principal limitação refere-se à estabilidade do consumo: o IRV é calculado com base no consumo médio mensal, assumindo demanda constante. Em ambientes industriais reais, o

consumo de lubrificantes e reagentes é frequentemente irregular, dependente do ritmo de manutenção e de ocorrências operacionais não previstas. Recomenda-se incorporar técnicas de previsão de demanda, como suavização exponencial ou médias móveis ao cálculo do índice para ambientes com alta variabilidade de consumo.

Os limiares do IRV constituem a segunda limitação. Os valores 1,0 e 1,5 foram definidos com base em critério lógico, mas não foram validados empiricamente. A calibração desses limiares com dados históricos reais, por categoria de insumo, é recomendada antes da implantação do modelo em ambiente produtivo. Patriarca *et al.* (2020) demonstram que parâmetros específicos de cada contexto, como variabilidade da demanda e prazo de vida residual, afetam significativamente os resultados ótimos de gestão, o que reforça a necessidade de adaptação local dos limiares.

Por fim, a operação do modelo em planilha eletrônica impõe limitações de escala e automação. Em almoxarifados com grande número de itens e múltiplos lotes por item, a atualização manual do IRV e a emissão de alertas tornam-se impraticáveis sem integração com sistemas de gestão (*ERP* ou *WMS*). A implantação plena do modelo requer o desenvolvimento de rotinas automatizadas de cálculo e alerta, alinhadas à infraestrutura tecnológica disponível na organização.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho respondeu à questão proposta, como estruturar um modelo de gestão que acompanhe o ciclo de vida de insumos perecíveis em estoques industriais, orientando ações de prevenção, intervenção e mitigação de perdas, por meio do desenvolvimento e aplicação de um macroprocesso estruturado em três fases hierárquicas. O modelo foi concebido a partir de uma lacuna identificada na literatura: a sub-representação de abordagens sistemáticas para insumos perecíveis com prazo fixo em ambientes industriais manufatureiros, contexto distinto dos setores alimentar e farmacêutico, onde o tema recebe atenção consolidada.

A principal contribuição teórica do trabalho é a proposta do Índice de Risco de Vencimento (IRV), indicador operacional que sintetiza a relação entre a validade residual de cada lote e o ritmo de consumo do item, permitindo a classificação objetiva do estoque em zonas de risco e a prescrição de ações diferenciadas por fase. Essa lógica adapta conceitos clássicos da literatura de gestão de perecíveis, em especial os modelos de prazo fixo discutidos por Nahmias (1982, 2011) e as políticas de gestão baseadas na idade do produto analisadas por Ahmadi *et al*. (2022), a um contexto que permanecia sub-representado academicamente.

No plano prático, a aplicação do modelo ao cenário simulado demonstrou sua coerência operacional e sua capacidade de revelar riscos que, em um ambiente de gestão reativa, permanecem invisíveis. A identificação de R$ 10.082,00 em risco de vencimento, 29,3% do valor total em estoque, ilustra a relevância prática do instrumento. O comparativo entre gestão reativa e gestão estruturada evidenciou que a principal transformação promovida pelo modelo não é apenas operacional, mas de visibilidade: o gestor passa a saber quais itens estão em risco, qual o valor exposto e qual ação é prescrita para cada caso.

As limitações identificadas, a suposição de demanda estável no cálculo do IRV, a definição empírica dos limiares e as restrições de escala da implementação em planilha, não invalidam o modelo, mas delimitam o escopo de sua aplicação e apontam direções para pesquisas futuras. Recomenda-se, em particular, a calibração dos limiares do IRV com dados históricos reais por categoria de insumo, a incorporação de técnicas de previsão de demanda para ambientes de alta variabilidade e o desenvolvimento de rotinas automatizadas integradas a sistemas *ERP* ou *WMS* para viabilizar a operação do modelo em almoxarifados de grande porte.

Conclui-se que o modelo proposto é operável, coerente com a literatura e relevante para o contexto industrial ao qual se destina. Sua contribuição fundamental está na estruturação de um processo que transforma a gestão de validade de insumos, problemática frequentemente relegada ao plano reativo, em um ciclo proativo e rastreado de prevenção, intervenção e mitigação, com potencial de redução de perdas financeiras e aumento da confiabilidade operacional dos estoques industriais.

REFERÊNCIAS

AHMADI, Ehsan et al. Intelligent inventory management approaches for perishable pharmaceutical products in a healthcare supply chain. **Computers & Operations Research**, v. 147, p. 105968, 2022.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**: planejamento, organização e logística empresarial. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

CHAUDHARY, Vaibhav; KULSHRESTHA, Rakhee; ROUTROY, Srikanta. State-of-the-art literature review on inventory models for perishable products. **Journal of Advances in Management Research**, v. 15, n. 3, p. 306-346, 2018.

CHOPRA, Sunil; MEINDL, Peter. **Supply chain management**: strategy, planning, and operation. 5. ed. Boston: Prentice Hall, 2013.

FONSECA, João José Saraiva da. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo (org.). **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

JANSSEN, Larissa; CLAUS, Thorsten; SAUER, Jürgen. Literature review of deteriorating inventory models by key topics from 2012 to 2015. **International Journal of Production Economics**, v. 182, p. 86-112, 2016.

KARAESMEN, Itir Z.; SCHELLER-WOLF, Alan; DENIZ, Borga. Managing perishable and aging inventories: review and future research directions. In: KEMPF, Karl G.; KESKINOCAK, Pinar; UZSOY, Reha (ed.). **Planning production and inventories in the extended enterprise**. New York: Springer, 2011. p. 393-436.

KOMIJANI, Mansoure; SHEIKH SAJADIEH, Mohsen. An integrated planning approach for perishable goods with stochastic lifespan: production, inventory, and routing. **Cleaner Logistics and Supply Chain**, v. 12, p. 100163, 2024.

LAUDON, Kenneth C.; LAUDON, Jane P. **Sistemas de informação gerenciais**. 15. ed. São Paulo: Pearson, 2020.

NAHMIAS, Steven. Perishable inventory theory: a review. **Operations Research**, v. 30, n. 4, p. 680-708, 1982.

NAHMIAS, Steven. **Perishable inventory systems**. New York: Springer, 2011.

PATRIARCA, Riccardo; DI GRAVIO, Giulio; COSTANTINO, Francesco; TRONCI, Massimo. EOQ inventory model for perishable products under uncertainty. **Production Engineering**, v. 14, n. 5-6, p. 601-612, 2020.

PIERSKALLA, William P.; ROACH, Chris D. Optimal issuing policies for perishable inventory. **Management Science**, v. 18, n. 11, p. 603-614, 1972.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Planejamento e controle da produção**: teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009.