

**Fatec**  
Guarulhos

**CPQ**  
Centro  
Paula Souza

 **SÃO PAULO**  
GOVERNO DO ESTADO

**CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA**  
**Tecnologia em Logística Aeroportuária**

**AFONSO LUCAS LIMA DOS REIS**  
**FLÁVIO FLORÊNCIO DE SOUZA**

**LOGÍSTICA REVERSA E TECNOLOGIA APLICADA NO AEROPORTO**  
**INTERNACIONAL DE GUARULHOS**  
**DESAFIOS E SOLUÇÕES OPERACIONAIS**

**GUARULHOS**

**2026**

**AFONSO LUCAS LIMA DOS REIS**  
**FLÁVIO FLORÊNCIO DE SOUZA**

**LOGÍSTICA REVERSA E TECNOLOGIA APLICADA NO AEROPORTO  
INTERNACIONAL DE GUARULHOS  
DESAFIOS E SOLUÇÕES OPERACIONAIS**

Trabalho de Graduação apresentado  
ao Curso Superior de Tecnologia em  
Logística Aeroportuária como requisito  
parcial para obtenção do Título de  
Tecnólogo em Logística Aeroportuária.

Orientador (a): Prof. Me. Wanny  
Arantes Bongiovanni Di Giorgi

**GUARULHOS**  
**2026**

## LOGÍSTICA REVERSA E TECNOLOGIA APLICADA NO AEROPORTO INTERNACIONAL DE GUARULHOS: DESAFIOS E SOLUÇÕES OPERACIONAIS

**AFONSO LUCAS LIMA DOS REIS** (FATEC Guarulhos)  
afonso.reis@aluno.cps.sp.gov.br

**FLAVIO FLORENCIO DE SOUZA** (FATEC Guarulhos)  
flavio.souza@aluno.cps.sp.gov.br

**Orientador**  
**PROF. ME. WANNY ARANTES BONGIOVANNI DI GIORGI** (FATEC Guarulhos)  
wanny.giorgi@cps.sp.gov.br

### Resumo

No contexto atual de valorização das práticas sustentáveis e da eficiência operacional, a logística reversa apresenta-se como uma ferramenta estratégica na gestão de resíduos sólidos em ambientes aeroportuários. O presente estudo tem como objetivo analisar os principais desafios relacionados à logística reversa no Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos, bem como avaliar o uso de tecnologias aplicadas à logística como forma de otimização dos processos. A metodologia adotada baseia-se em revisão bibliográfica e análise de estudos de caso. Os resultados demonstram que a ausência de um sistema integrado de gestão de resíduos, aliada à baixa utilização de tecnologias, compromete a eficiência operacional e gera perdas financeiras. Como proposta, sugere-se a implantação de um sistema inteligente de monitoramento de resíduos com uso de Internet das Coisas (IoT), visando aumentar a eficiência da coleta seletiva e o reaproveitamento de materiais.

**Palavras-chave:** logística reversa; tecnologia; aeroporto; resíduos sólidos; sustentabilidade.

### Abstract

*In the current context of emphasizing sustainable practices and operational efficiency, reverse logistics stands out as a strategic tool for solid waste management in airport environments. This study aims to analyze the main challenges related to reverse logistics at the São Paulo/Guarulhos International Airport, as well as to evaluate the use of technologies applied to logistics as a means of process optimization. The methodology adopted is based on a literature review and case study analysis. The results demonstrate that the absence of an integrated waste management system, combined with the low utilization of technologies, compromises operational efficiency and generates financial losses. As a proposal, the implementation of an intelligent waste monitoring system using the Internet of Things (IoT) is suggested, aiming to increase selective collection efficiency and material reuse.*

**Keywords:** reverse logistics; technology; airport; solid waste; sustainability.

## 1. INTRODUÇÃO

Os aeroportos modernos são considerados sistemas logísticos complexos, responsáveis pela integração de fluxos de passageiros, cargas e informações em escala global. Nesse contexto, o Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos destaca-se como o principal hub aeroportuário do Brasil, concentrando grande volume de operações nacionais e internacionais (ANAC, 2023).

Com o crescimento das atividades aeroportuárias, observa-se um aumento significativo na geração de resíduos sólidos provenientes de diversas fontes, como operações de carga, serviços de bordo, manutenção de aeronaves, áreas comerciais e administrativas. Esses resíduos incluem materiais recicláveis como papel, plástico, vidro, alumínio e madeira, além de resíduos perigosos que exigem tratamento específico (ABNT, 2004).

Entretanto, apesar do elevado potencial de reaproveitamento desses materiais, grande parte ainda é descartada de forma inadequada, evidenciando falhas nos processos de gestão e na implementação da logística reversa. Além disso, a baixa utilização de tecnologias aplicadas à logística dificulta o controle e a otimização desses processos.

Diante desse cenário, este estudo busca analisar os desafios da logística reversa no aeroporto de Guarulhos e propor soluções baseadas no uso de tecnologia para melhoria da eficiência operacional e sustentabilidade ambiental.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Logística Reversa

A logística reversa é definida como o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo de materiais no sentido inverso ao fluxo tradicional da cadeia de suprimentos, ou seja, do consumidor ao ponto de origem, com o objetivo de reaproveitamento ou destinação adequada (LEITE, 2009).

No ambiente aeroportuário, a logística reversa envolve atividades como retorno de embalagens, reciclagem de materiais, reutilização de pallets e descarte correto de resíduos perigosos. Sua aplicação está diretamente relacionada à sustentabilidade e à economia circular.

### 2.2 Gestão de Resíduos em Aeroportos

A gestão de resíduos sólidos em aeroportos apresenta elevada complexidade devido à diversidade de fontes geradoras e à necessidade de atendimento às normas ambientais. Segundo a ABNT (2004), os resíduos são classificados conforme seu grau de risco, exigindo diferentes formas de tratamento.

Estudos demonstram que a ausência de coleta seletiva eficiente e de processos estruturados resulta em desperdício de materiais recicláveis e aumento dos custos operacionais (PACHECO et al., 2017).

### **2.3 Tecnologia Aplicada à Logística**

A tecnologia aplicada à logística tem como objetivo aumentar a eficiência dos processos e melhorar o controle das operações. Ferramentas como sistemas de gestão, Internet das Coisas (IoT) e análise de dados permitem monitoramento em tempo real e maior precisão na tomada de decisões.

No contexto da logística reversa, essas tecnologias possibilitam o controle da geração de resíduos, a rastreabilidade dos materiais e a otimização da coleta seletiva.

### **2.4 Rastreabilidade Digital e Identificação Automática**

A eficiência da logística reversa e da economia circular em ambientes de alta complexidade operacional, como os terminais aeroportuários, depende substancialmente da capacidade de capturar, processar e compartilhar dados em tempo real. Neste cenário, as tecnologias de Identificação por Radiofrequência (Radio-Frequency Identification - RFID) e os Códigos de Resposta Rápida (Quick Response Codes - QR Codes) destacam-se como ferramentas propulsoras da transição para a Logística 4.0, viabilizando a rastreabilidade digital de fluxos de materiais e resíduos.

### **2.5 Tecnologia RFID (Radio-Frequency Identification)**

O sistema RFID baseia-se na transmissão de dados por meio de sinais de radiofrequência, permitindo a identificação e o rastreamento automático de objetos sem a necessidade de contato físico ou campo de visão direto entre o emissor e o receptor (LAUDON; LAUDON, 2022). A arquitetura básica dessa tecnologia é composta por três elementos principais: uma etiqueta (ou transponder), uma antena e um leitor (interrogador).

As etiquetas podem ser classificadas em ativas — que possuem fonte de energia própria e maior alcance de transmissão — e passivas, que utilizam a energia eletromagnética emitida pelo próprio leitor para responder com seus dados identificadores (SOUZA; CASTRO, 2024). Na gestão de resíduos em hubs de transporte, as etiquetas passivas apresentam grande variabilidade devido ao menor custo unitário e à durabilidade sob condições adversas.

No contexto da logística reversa aeroportuária, o RFID soluciona um dos maiores gargalos operacionais: o inventário manual e passível de erros de contêineres de descarte e paletes de carga. Conforme apontam Christopher (2018) e Souza e Castro (2024), a leitura simultânea e em lote (bulk reading) de múltiplos coletores agiliza o fluxo de triagem, reduz o tempo de permanência de resíduos perigosos em áreas de movimentação e mitiga o risco de incidentes operacionais, como a presença de detritos nas pistas de táxi e pátios de aeronaves (Foreign Object Damage - F.O.D.).

## 2.6 QR Codes (Quick Response Codes)

Desenvolvido originalmente pela Denso Wave na década de 1990 para a indústria automobilística, o QR Code é um código de barras bidimensional (2D) de alta matriz que superou as limitações de capacidade de armazenamento dos códigos de barras lineares tradicionais (1D). Sua estrutura quadriculada permite a leitura bidirecional rápida (horizontal e vertical), garantindo alta velocidade de decodificação mesmo se a etiqueta estiver parcialmente danificada ou suja (Bowersox et al., 2020).

A principal vantagem do QR Code na gestão de fluxos logísticos reversos reside no seu baixo custo de implementação e na democratização do acesso à informação. Diferente do RFID, que demanda antenas e leitores homologados específicos, o QR Code pode ser impresso em materiais comuns e digitalizado por dispositivos móveis convencionais, como smartphones e tablets corporativos (BALLOU, 2021).

Para a cadeia de logística reversa de materiais recicláveis em terminais de passageiros e praças de alimentação, o QR Code atua como um elo de integração de dados e engajamento. Ao escanear o código fixado em um coletor ou caçamba, os operadores aeroportuários e equipes de limpeza têm acesso imediato à ficha técnica do material, instruções de segregação segundo a NBR 10004 e histórico de destinação final, promovendo o compliance ambiental e alimentando os sistemas de gestão integrada em nuvem de forma ágil.

## 2.7 Integração Tecnológica e Conectividade

A literatura recente aponta que o RFID e o QR Code não devem ser visualizados como tecnologias excludentes, mas sim complementares na infraestrutura de um hub multimodal (PACHECO et al., 2017). Enquanto o RFID assume o protagonismo na automação pesada do pátio de triagem e galpões de carga (onde o volume e a velocidade exigem captação massiva e automatizada de dados), o QR Code preenche as lacunas da última milha (last mile) e das frentes de coleta descentralizadas, servindo como uma interface econômica e acessível para auditorias locais, rotulagem e educação ambiental corporativa.

## 2.8 Plano Diretor de Resíduos em Guarulhos

De acordo com o Plano Diretor de Resíduos Sólidos do Município de Guarulhos e o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), o aeroporto de Guarulhos adota uma taxa média de geração per capita de 0,35 kg de resíduos por passageiro.

Aproximação anual: Considerando um movimento médio recente que oscila entre 40 e 45 milhões de passageiros ao ano, a produção de resíduos sólidos nas operações do complexo gira em torno de 14.000 a 16.000 toneladas por ano.

Média diária: Isso representa algo em torno de 38 a 44 toneladas de resíduos gerados por dia dentro do sítio aeroportuário (englobando terminais, praças de alimentação, áreas administrativas e de manutenção)

### **3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

O desenvolvimento desta pesquisa pautou-se em uma abordagem mista (qualitativa e quantitativa), possuindo caráter exploratório e descritivo. Metodologicamente, a investigação configurou-se como um estudo de caso aplicado, cujo objeto de estudo delimitado foi o Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos (GRU). A escolha deste sítio justifica-se por sua relevância estratégica como o principal hub aeroportuário do Brasil e da América do Sul, apresentando uma escala e complexidade operacional que tornam crítica a gestão de seus fluxos logísticos e resíduos sólidos.

Para o alcance dos objetivos propostos, a pesquisa foi estruturada em três fases consecutivas:

#### **3.1 Revisão Bibliográfica e Documental**

Realizou-se um levantamento em bases de dados científicas e em normas técnicas regulamentadoras — tais como as diretrizes da ABNT (NBR 10004 e NBR 14724) e da Organização de Aviação Civil Internacional (OACI) — focando nos conceitos de logística reversa, economia circular, gestão de resíduos em aeroportos e tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 (como a Internet das Coisas - IoT).

#### **3.2 Análise do Cenário Atual (Diagnóstico do Estudo de Caso)**

Utilizaram-se dados secundários e diagnósticos empíricos e bibliográficos previamente estabelecidos na literatura técnica (notadamente os indicadores de Pacheco et al., 2017) para identificar os gargalos operacionais e quantificar os tipos, volumes e locais de descarte das frações recicláveis e perigosas no aeroporto. Nesta etapa, o problema de pesquisa foi delimitado e ilustrado por meio de análises gráficas e fotográficas das inconformidades encontradas no terminal.

#### **3.3 Modelagem da Solução Tecnológica (Proposta Conceitual)**

A partir dos gargalos identificados, foi desenvolvida uma proposta de modelagem teórica para a transição do modelo de gestão reativo para um modelo digital integrado. Essa etapa consistiu na elaboração de diretrizes técnicas para a instalação de sensores inteligentes (IoT), definição de parâmetros de alerta por setor, proposição de rotas dinâmicas via software integrado (WMS adaptado) e estratégias de rastreabilidade digital (RFID e QR Code) voltadas à mitigação de riscos como o Foreign Object

Damage (F.O.D.). Complementarmente, associou-se a essa infraestrutura a proposição de um plano conceitual de educação ambiental corporativa.

Os resultados e as taxas de eficiência projetadas foram analisados de forma comparativa e qualitativa, servindo como um modelo analítico de demonstração teórica para subsidiar futuras validações empíricas e testes-piloto em campo.

### **3.4 Setor Aeroportuário, Tipos de Resíduos e Aplicação Tecnológica na Logística Reversa**

O setor aeroportuário apresenta características operacionais específicas que tornam a gestão de resíduos sólidos uma atividade complexa e altamente sensível. A segurança aeroportuária é considerada prioridade absoluta, exigindo que todos os processos, incluindo os programas de reciclagem e logística reversa, estejam alinhados com os requisitos operacionais e normativos estabelecidos (OACI, 1996).

Nesse contexto, a implementação de sistemas de gestão de resíduos deve considerar restrições importantes, como limitação de espaço físico, controle de acesso a áreas restritas e necessidade de inspeção constante de equipamentos como containers e coletores. Conforme a OACI (1996), recipientes utilizados em áreas aeroportuárias devem possuir proteção adicional e, em alguns casos, características específicas de segurança, o que impacta diretamente na logística reversa.

Além disso, a estrutura física do aeroporto — composta por áreas de embarque, check-in, terminais de carga, áreas comerciais e operacionais — dificulta a padronização da coleta seletiva e o armazenamento adequado dos resíduos. Muitas dessas áreas possuem espaço limitado, o que reduz a capacidade de segregação e armazenamento de materiais recicláveis.

Outro fator crítico é a necessidade de evitar riscos operacionais, como o F.O.D. (Foreign Object Damage), que pode ser causado por resíduos mal acondicionados próximos às pistas, representando risco à segurança aeronáutica. Dessa forma, os locais de armazenamento e reciclagem devem ser estrategicamente posicionados para evitar impactos operacionais e ambientais.

No que se refere à classificação, os resíduos aeroportuários são divididos conforme mostrado na figura 1, e normas complementares em classes que variam de resíduos perigosos até resíduos comuns, incluindo materiais biológicos, químicos, radioativos e recicláveis.

## Figura 1 – Classificação dos resíduos aeroportuários



Fonte: INOVAE - ISSN: 2357-7797, São Paulo, Vol.5, N.1, JAN-JUN, 2017 - pág. 48-64 (2026)

Essa diversidade aumenta a complexidade do gerenciamento e exige controle rigoroso dos fluxos de descarte.

Entretanto, conforme mostrado nas figuras 2 e 3, o principal problema não está apenas na geração de resíduos, mas na forma como esses resíduos são gerenciados.:

Figura 2 e 3 - Lixo descartado de maneira irregular no subsolo do terminal 3.



Fonte: INOVAE - ISSN: 2357-7797, São Paulo, Vol.5, N.1, JAN-JUN, 2017 - pág. 48-64 (2026)

Esse cenário evidencia a inexistência de um sistema estruturado e tecnológico de gestão de resíduos, o que compromete diretamente a eficiência da logística reversa e gera impactos ambientais, operacionais e financeiros

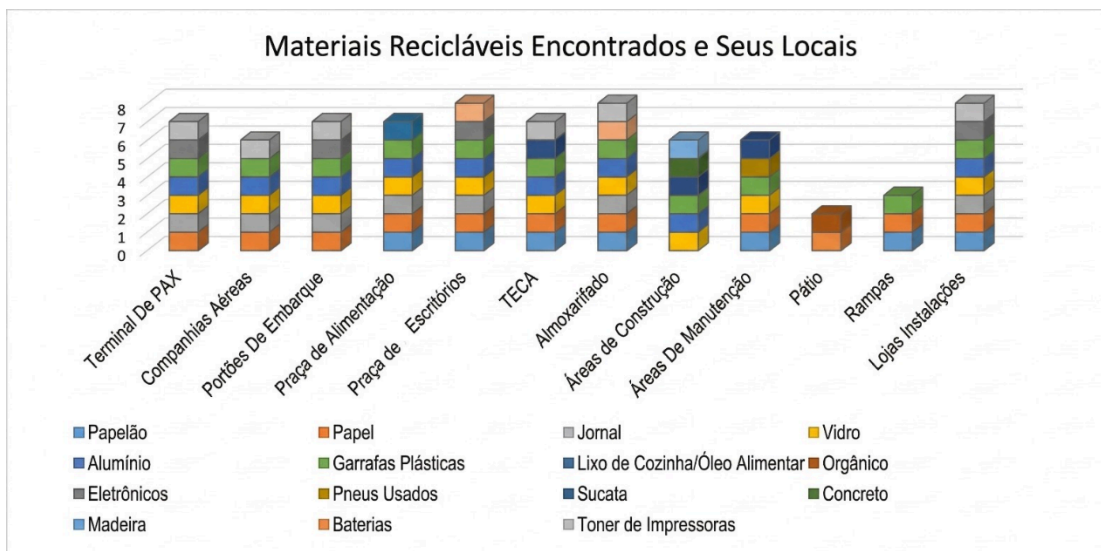
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise dos dados

A análise dos dados evidencia que a logística reversa no aeroporto ainda é realizada de forma limitada e não estruturada. Segundo Pacheco et al. (2017), grande parte dos resíduos recicláveis é descartada sem aproveitamento, gerando perdas financeiras e impactos ambientais.

No gráfico 1 a seguir temos alguns dos materiais encontrados no setor aeroportuário, com isso podemos verificar onde e que tipo de material reciclável temos no aeroporto, em específico Guarulhos, onde são retiradas as toneladas de material que poderiam ser reaproveitados, contudo os resíduos são descartados por não ter um processo estruturado de coleta seletiva.

Gráfico 1 – Materiais recicláveis encontrados e seus locais



Fonte: INOVAE - ISSN: 2357-7797, São Paulo, Vol.5, N.1, JAN-JUN, 2017 - pág. 48-64 (2026)

Outro fator crítico é a ausência de tecnologia nos processos, o que impede o monitoramento adequado da geração de resíduos e dificulta a otimização da coleta seletiva.

Dessa forma, a logística reversa no aeroporto opera de forma reativa, sem planejamento estratégico e sem integração com sistemas tecnológicos.

## 4.2 Integração Tecnológica na Logística Reversa Aeroportuária

A superação dos gargalos operacionais identificados na gestão de resíduos do Aeroporto Internacional de Guarulhos demanda a transição de um modelo de atuação reativo para uma abordagem estratégica pautada na digitalização dos processos. Para tanto, propõe-se o desenvolvimento e a implementação de um **Sistema Inteligente de Gestão de Resíduos Aeroportuários**, fundamentado no conceito de Internet das Coisas (IoT) e em ferramentas avançadas de rastreabilidade logística.

## 4.3 Monitoramento Conectado e Internet das Coisas (IoT)

O cerne do sistema proposto consiste na instalação de sensores inteligentes nos containers de descarte estrategicamente distribuídos pelas principais zonas geradoras do sítio aeroportuário, englobando os terminais de passageiros, as áreas de *check-in*, o Terminal de Cargas (TECA), além das zonas comerciais e praças de alimentação. Estes dispositivos atuam na coleta automatizada de dados em tempo real, monitorando variáveis críticas como o tempo de permanência do container no local, a identificação do tipo de resíduo associado àquele setor e o nível de preenchimento volumétrico. Sob a ótica da eficiência operacional, o sistema é parametrizado para emitir alertas automáticos direcionados à equipe de gerenciamento assim que qualquer coletor atinja 80% de sua capacidade máxima, mitigando os riscos associados ao transbordo e ao acúmulo inadequado de materiais. Para detalhar a distribuição espacial desses dispositivos e seus respectivos escopos de monitoramento, as diretrizes de instalação técnica estão sintetizadas na Tabela 1.

**Tabela 1** – Diretrizes para Instalação e Parâmetros dos Sensores IoT por Setor.

Setor do Aeroporto	Tipo de Sensor Recomendado	Parâmetro de Alerta	Principais Resíduos Monitorados
Terminais de Passageiros	Sensor Ultrassônico de Nível	80% da capacidade	Resíduos recicláveis, descartáveis e orgânicos comuns
Área de Check-in	Sensor Ultrassônico de Nível	80% da capacidade	Papéis, comprovantes, etiquetas e resíduos gerais
TECA (Terminal de Cargas)	Sensor de Peso e Nível Integrado	80% da capacidade	Madeiras (paletes), plásticos do tipo shrink, papelão
Praças de Alimentação	Sensor Térmico e de Nível	80% da capacidade	Resíduos orgânicos (restos de alimentos) e recicláveis
Áreas Críticas (Pistas/Pátio)	Câmeras Inteligentes e Sensores de Proximidade	Deteção Imediata	Foreign Object Damage (F.O.D.) e objetos soltos

Fonte: Elaborado pelos autores a partir da NBR 14724 (ABNT, 2024).

#### 4.4 Software Logístico e Roteirização Inteligente

Os dados captados nos pontos de descarte são centralizados em um painel de monitoramento integrado, desenvolvido nos moldes de um sistema de gerenciamento de armazém (*Warehouse Management System* - WMS) adaptado à logística reversa. Essa interface de *software* permite à gestão aeroportuária visualizar graficamente o panorama dos resíduos em tempo real, identificar com precisão os gargalos e pontos de acúmulo, quantificar os volumes gerados por setor e triar os materiais com base em suas respectivas classificações e classes de risco.

A partir do processamento analítico dessas informações, o sistema subsidia a tomada de decisão por meio da **roteirização inteligente da coleta**. Em vez de cronogramas fixos e ineficientes, as rotas de recolhimento passam a ser dinâmicas, priorizando os pontos críticos e determinando a frequência ideal de retirada. Esse rearranjo logístico otimiza o fluxo de trabalho e restringe a circulação desnecessária de equipes operacionais e veículos em áreas de segurança restrita, convertendo-se em redução de custos logísticos e incremento da segurança interna.

#### 4.5 Rastreabilidade Digital e Mitigação de Riscos Operacionais (F.O.D.)

Complementarmente, a governança do fluxo reverso é fortalecida pela atribuição de identidades digitais a cada lote de resíduo ou container, utilizando tecnologias de identificação por radiofrequência (RFID) ou códigos QR (*QR Codes*). Essa rastreabilidade assegura o mapeamento completo da cadeia, viabilizando a auditoria da origem exata do descarte, a mensuração comparativa de desempenho sustentável entre os terminais e o controle rigoroso da destinação final do material — garantindo o direcionamento correto para cooperativas de reciclagem ou aterros licenciados.

Por fim, a infraestrutura tecnológica proposta atua diretamente na segurança da navegação aérea por meio do controle de *Foreign Object Damage* (F.O.D.). Através da integração de sensores de proximidade e câmeras de monitoramento inteligente instaladas nas adjacências de áreas críticas e próximas às pistas, o sistema torna-se capaz de detectar imediatamente a presença de objetos soltos ou resíduos acondicionados de forma irregular. Essa detecção precoce fornece às equipes de pátio o suporte tecnológico necessário para neutralizar ameaças em potencial de maneira ágil, alinhando a eficiência da logística reversa à diretriz de risco zero no setor aeroportuário.

#### 4.6 Análise Comparativa e Resultados Teóricos

A avaliação do impacto da modernização tecnológica na gestão de resíduos do Aeroporto Internacional de Guarulhos (GRU) evidencia que a transição de processos puramente manuais para um ambiente digital integrado altera profundamente a curva de eficiência operacional. Para sintetizar e contrapor de forma clara os gargalos do modelo atual com os benefícios projetados pela automação, a Tabela 2 apresenta um comparativo estrutural entre os dois cenários.

**Gráfico 2** – Eficiência com uso de tecnologia no Aeroporto de Guarulhos

Variável Logística	Cenário Atual (Modelo Recreativo)	Cenário Proposto (Sistema IoT / WMS)
Monitoramento	Manual e visual, dependente de rondas periódicas	Automatizado em tempo real via painel central
Roteirização da Coleta	Rotas fixas e cronogramas predeterminados	Rotas dinâmicas otimizadas por demanda de preenchimento
Segurança em Áreas Restritas	Circulação desnecessária de equipes operacionais	Circulação restrita às necessidades reais de coleta
Rastreabilidade	Inexistente (baixa identificação da origem do resíduo)	Digitalizada por meio de etiquetas RFID ou <i>QR Codes</i>
Controle de F.O.D.	Inspeções visuais programadas pelas equipes de pátio	Monitoramento contínuo por sensores e câmeras inteligentes

Fonte: Elaborado pelos autores a partir da NBR 14724 (ABNT, 2024).

Conforme evidenciado na Tabela 2, o cenário atual (baseado em um modelo reativo) expõe severas limitações operacionais. A literatura técnica aponta que, sem o auxílio de ferramentas de automação, a taxa real de reciclagem no sítio aeroportuário situa-se historicamente abaixo de 5% (PACHECO et al., 2017). Essa baixa eficiência decorre diretamente de processos dependentes de inspeções visuais humanas e cronogramas fixos de coleta, que ignoram a dinâmica de geração de resíduos de cada terminal.

Por outro lado, as maiores projeções de avanço operacional concentram-se no cenário proposto, onde ocorre a inserção tecnológica completa. A substituição de rondas manuais por um monitoramento contínuo via Internet das Coisas (IoT) e *softwares* integrados reduz significativamente a circulação desnecessária de equipes em áreas restritas de segurança, otimizando o uso de recursos humanos. Além disso, a introdução de sensores de proximidade e câmeras para controle de *Foreign Object Damage* (F.O.D.) eleva o patamar de segurança da navegação aérea ao mitigar preventivamente riscos de acidentes nas pistas.

No entanto, destaca-se que os parâmetros comparativos e as taxas de eficiência projetadas possuem caráter qualitativo, hipotético e ilustrativo, servindo como modelo

analítico de demonstração teórica. Dessa forma, as variáveis apresentadas indicam tendências tecnológicas e possibilidades de otimização estrutural, não representando a realidade financeira e operacional imediata da concessionária de Guarulhos. Conclui-se, portanto, que a incorporação dessas soluções possui potencial estratégico relevante para modernizar o fluxo reverso aeroportuário, recomendando-se a realização de estudos empíricos futuros e testes-piloto em campo para validar de forma quantitativa e prática os impactos projetados neste estudo.

#### 4.7 Educação Ambiental

Adicionalmente, propõe-se a inserção de um processo de educação ambiental no ambiente organizacional, por meio de cartilhas educativas e programas de conscientização voltados ao descarte adequado de resíduos no setor aeroportuário. Essa abordagem busca reduzir os impactos ambientais decorrentes do descarte irregular de lixo, ao mesmo tempo em que promove a aplicação integrada de conhecimentos e técnicas sustentáveis. Em termos conceituais, a inserção dessas práticas no cotidiano das corporações encontra respaldo na necessidade de transformação cultural dos indivíduos, conforme aponta a literatura clássica por (REIGOTA, 1998, p. 32). sobre o tema:

A educação ambiental deve ser entendida como um processo político de formação e conscientização permanente, voltado para a mudança de comportamento, o desenvolvimento de competências cognitivas e a participação activa dos sujeitos na resolução dos problemas locais e globais, viabilizando propostas pedagógicas que transformem a relação entre o homem e a natureza.

[...]

Dessa forma, a elaboração de um plano de ação, ainda que em nível teórico, tem como objetivo identificar possíveis irregularidades e sugerir melhorias nos processos de descarte de resíduos. Considera-se que, a partir da aplicação dessas propostas, seria possível minimizar problemas operacionais e reduzir custos associados ao manejo inadequado do lixo. Assim, a integração entre educação ambiental, gestão de recursos e uso de tecnologias apresenta-se como um caminho viável para o fortalecimento da sustentabilidade no setor aeroportuário.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste estudo permitiu analisar de forma integrada a complexidade operacional da logística reversa e a premente necessidade de incorporação tecnológica no Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos (GRU). Diante do volume expressivo de resíduos gerados pelas diversas atividades aeroportuárias — que englobam desde os serviços de bordo e terminais de carga até as áreas administrativas e comerciais —, a ausência de um sistema automatizado e centralizado manifesta-se como o principal gargalo para a consolidação de uma agenda efetiva de sustentabilidade ambiental e economia circular no sítio aeroportuário. Os diagnósticos empíricos e bibliográficos levantados evidenciam que a gestão de resíduos em ambientes aeroportuários não pode mais ser operada de maneira puramente reativa. O cenário atual de descarte irregular observado em áreas críticas e os baixos índices históricos de reciclagem, atualmente inferiores a 5%, ratificam que problemas estruturais, como a mistura de resíduos recicláveis com lixo comum e o armazenamento inadequado, geram severas perdas financeiras e elevam os custos operacionais da concessionária.

Como principal contribuição deste artigo, a modelagem teórica baseada em Internet das Coisas (IoT) comprovou que a inserção incremental de tecnologia possui correlação direta com a curva de eficiência da logística reversa. A transição para containers dotados de sensores inteligentes de preenchimento, associada a sistemas dinâmicos de roteirização da coleta e ao monitoramento por *softwares* logísticos integrados, tipo WMS adaptado, mitiga os riscos operacionais no pátio e otimiza a alocação de recursos humanos e materiais. Ademais, a incorporação de tecnologias de rastreabilidade, como RFID ou *QR Code*, e o uso de inteligência artificial acoplada a câmeras para o controle preventivo de *Foreign Object Damage* (F.O.D.) demonstram que as soluções aqui propostas transcendem a esfera ecológica, atuando como ferramentas estratégicas de segurança da navegação aérea. Paralelamente, conclui-se que a tecnologia isolada não é autossuficiente; a eficiência sistêmica da logística reversa aeroportuária depende de um modelo híbrido, no qual a infraestrutura digital atue em simbiose com programas contínuos de educação ambiental corporativa e conscientização organizacional. O fortalecimento de competências e a mudança cultural dos colaboradores e usuários do aeroporto, fundamentados em propostas pedagógicas sólidas, figuram como os pilares de sustentação para que a segregação na fonte ocorra em conformidade com as diretrizes normativas vigentes.

Não obstante os resultados promissores projetados na discussão, é imperativo reconhecer que este estudo apresenta limitações intrínsecas, visto que os dados analisados possuem caráter predominantemente hipotético e prospectivo. Devido às restrições de acesso a dados comerciais sigilosos e às especificidades de segurança de áreas restritas do aeroporto, os cenários descritos refletem tendências e possibilidades analíticas extraídas da literatura técnica, não representando necessariamente o panorama estatístico atual ou a viabilidade financeira imediata da concessionária de Guarulhos. Outrossim, os impactos decorrentes da volatilidade do mercado de recicláveis e as

barreiras contratuais com empresas terceirizadas de limpeza não foram computados no escopo desta modelagem.

Para dar continuidade ao avanço do conhecimento científico e prático nesta área, recomendam-se, para trabalhos futuros, a realização de pesquisas de campo aplicadas que implementem projetos-piloto de sensores IoT em um terminal ou setor delimitado de Guarulhos, visando coletar dados reais para validar empiricamente as taxas de eficiência sugeridas. Sugere-se também o desenvolvimento de análises detalhadas de viabilidade econômico-financeira (CapEx e OpEx) para mensurar o retorno sobre o investimento da infraestrutura tecnológica, além de investigações aprofundadas sobre os impactos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) e das regulamentações da ANAC e OACI sobre os contratos de concessão. Por fim, aponta-se como campo fecundo a modelagem de uma integração logística intermodal que conecte o fluxo reverso do aeródromo diretamente com as redes logísticas de cooperativas de catadores locais e indústrias transformadoras da Região Metropolitana de São Paulo, fechando de forma robusta o ciclo da economia circular.

## 6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (Brasil). **Dados do setor aéreo**. Brasília: ANAC, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anac>. Acesso em: 15 mai. 2026.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 147, nº 147, p. 3, 3 ago. 2010.

BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J.; COOPER, M. Bixby. **Logística empresarial**: o processo de integração da cadeia de suprimentos. São Paulo: Atlas, 2007.

CHRIRETO, Rodrigo de Alvarenga; GOMES, Carlos Francisco Simões. **Logística reversa**: sustentabilidade e competitividade empresarial. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

CHRISTOPHER, Martin. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos**. 5. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2018

GUBITOSI, J. J. Internet das Coisas (IoT) aplicada à gestão de cadeias de suprimentos complexas. **Revista Brasileira de Logística Computacional**, São Paulo, v. 14, n. 3, p. 112-130, 2022.

LEITE, Paulo Roberto. **Logística reversa: meio ambiente e competitividade**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

LAUDON, Kenneth C.; LAUDON, Jane P. **Sistemas de informação gerenciais**. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2022

NOVAES, Antonio Galvão Ramos. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

ORGANIZAÇÃO DE AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL (OACI). **Doc 9157: Airport Services Manual - Parte 2: Land Use and Environmental Control**. 3. ed. Montreal: OACI, 1996.

PACHECO, E. G. *et al.* Aplicação de ferramentas da qualidade para o descarte de resíduos sólidos no aeroporto de Guarulhos. **Revista Inova E**, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 48-64, jan./jun. 2017.

PÁDUA, Suzana M.; TABANEZ, Marlene F. **Educação ambiental: caminhos trilhados no Brasil**. Brasília: Ipê, 1998.

REIGOTA, Marcos. **O que é educação ambiental**. 2. ed. São Paulo: Brasiliense, 1998.

RODRIGUES, Paulo Renato. **Gestão ambiental em infraestrutura aeroportuária: os desafios logísticos dos grandes hubs regulados**. Rio de Janeiro: Interciência, 2021.

SOUZA, Renato da Silva; CASTRO, Nelson. Monitoramento inteligente de resíduos urbanos e industriais através de redes de sensores sem fio. **Cadernos de Engenharia e Tecnologia Aplicada**, Curitiba, v. 28, n. 2, p. 45-59, 2024.

TURBAN, Efraim; VOLONINO, Linda; WOOD, Gregory R. **Tecnologia da Informação para gestão: em busca de desempenho no ambiente digital**. 11. ed. Porto Alegre: Bookman, 202

"Os conteúdos expressos no trabalho, bem como sua revisão ortográfica e adequação às normas ABNT são de inteira responsabilidade dos autores."

«Declaração de IA generativa e tecnologias assistidas por IA no processo de redação»

Declara-se pelos autores que durante a preparação deste trabalho foi utilizado o modelo de inteligência artificial Gemini (Google) para apoio na otimização de fluxo textual, estruturação metodológica de estudo de caso, conversão de tópicos técnicos em formato de fundamentação teórica, ampliação e padronização de referências bibliográficas segundo as normas da ABNT e tradução do resumo (*Abstract*). Após utilizar esta ferramenta, os autores editaram, adaptaram e revisaram o conteúdo conforme necessário para garantir o rigor técnico do estudo de caso aplicado ao Aeroporto Internacional de Guarulhos e assumem total responsabilidade pelo conteúdo final da publicação.