

A LOGÍSTICA INTERNACIONAL E A CADEIA DE SUPRIMENTOS NA FÓRMULA 1: DESAFIOS DE EFICIÊNCIA E SUSTENTABILIDADE NO CENÁRIO CONTEMPORÂNEO (2021–2025)

International Logistics and Supply Chain in Formula 1: Efficiency and Sustainability

Challenges in the Contemporary Scenario (2021–2025)

MARIA KAROLLINY CARDOSO LIMA¹

KERLE PEREIRA DANTAS²

RESUMO

A Fórmula 1 opera uma cadeia de suprimentos global complexa, com eventos em múltiplos continentes e janelas logísticas estreitas. Nesse cenário, equilibrar desempenho e sustentabilidade tornou-se um objetivo estratégico. Este estudo sintetiza evidências (2021–2025) sobre soluções adotadas para reduzir impactos ambientais sem comprometer a eficiência. Trata-se de uma revisão integrativa nas bases Scopus, Web of Science, ScienceDirect e SpringerLink. Dos 31 registros inicialmente identificados, seis atenderam aos critérios de elegibilidade: um livro sobre logística de megaeventos, dois artigos de otimização de calendário e intermodalidade, um estudo sobre transição energética (hidrogênio e SAF) e dois relatórios oficiais da Fórmula 1 (Impact Report 2023; Sustainability Update 2025). Os resultados convergem em cinco eixos: (1) coordenação e planejamento integrados fortalecem a confiabilidade operacional; (2) agrupamento regional de corridas reduz deslocamentos e custos; (3) transporte intermodal, sobretudo rodovia–ferrovia na Europa, diminui emissões em cargas não críticas; (4) avanços na transição energética incluem o uso de SAF, biocombustíveis e pesquisa em hidrogênio; (5) governança ambiental corporativa orienta a trajetória para a meta Net Zero 2030. Conclui-se que a combinação entre planejamento, intermodalidade e fontes energéticas de menor carbono gera ganhos ambientais mensuráveis, mantendo a performance logística essencial ao espetáculo.

Descritores (DeCS): Logística; Desenvolvimento Sustentável; Pegada de Carbono; Meios de Transporte; Biocombustíveis; Hidrogênio.

ABSTRACT

Formula 1 operates a complex global supply chain, characterized by multi-continental events and tight logistical timeframes. In this context, balancing performance and sustainability has become a strategic priority. This study synthesizes evidence (2021–2025) on solutions adopted to reduce environmental impacts without compromising

¹Graduanda em Bacharelado em Administração pela Universidade Estadual do Piauí e assistente de faturamento (hospital São Marcos)

² Graduado em Economia (UFPI), Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente (UFPI), MBA em Finanças Públicas (IBMEC); Professor Efetivo do Curso de Administração (UESPI) e , Analista do Tesouro Estadual (SEFAZ-PI).

³Artigo científico apresentado ao Campus Clóvis Moura, da Universidade Estadual do Piauí, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel (a) em Administração.

operational efficiency. An integrative review was conducted in the Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and SpringerLink databases. Of the 31 records initially identified, six met the eligibility criteria: one book on mega-event logistics, two studies on calendar optimization and intermodal transport, one analysis on energy transition (hydrogen and SAF), and two official Formula 1 reports (Impact Report 2023; Sustainability Update 2025). The findings converge into five key axes: (1) integrated coordination and planning strengthen operational reliability; (2) regional clustering of races reduces travel distances and logistical costs; (3) intermodal transport, particularly road–rail in Europe, decreases emissions for non-critical freight; (4) progress in energy transition includes the use of SAF, biofuels, and hydrogen research; (5) environmental governance guides the trajectory toward the Net Zero 2030 target. It is concluded that the combination of strategic planning, intermodality, and lower-carbon energy sources generates measurable environmental gains while maintaining the logistical performance essential to the sport.

INTRODUÇÃO

A Fórmula 1 é considerada a principal categoria do automobilismo mundial e, simultaneamente, um dos esportes mais globais e itinerantes da atualidade. Em cada temporada, são disputados mais de vinte Grandes Prêmios distribuídos por diferentes continentes, o que implica a movimentação de toneladas de equipamentos, carros e estruturas de apoio em prazos extremamente reduzidos. Esse cenário exige um planejamento logístico altamente eficiente, no qual o transporte aéreo, marítimo e terrestre é combinado de maneira estratégica para assegurar que cada corrida ocorra dentro do cronograma estabelecido (ANDRADE, 2020; HOW FORMULA 1 CARS ARE TRANSPORTED, 2022).

A logística aplicada à Fórmula 1 pode ser entendida como um exemplo extremo de gestão de cadeias de suprimento globais. Essa condição ocorre porque a categoria demanda planejamento de longo prazo, no qual atrasos ou falhas podem comprometer diretamente a realização de uma etapa. Por esse motivo, a F1 tem sido considerada um verdadeiro laboratório de práticas logísticas que podem ser aplicadas em diferentes setores econômicos, uma vez que a identificação e a eliminação de falhas logísticas impactam diretamente na redução de custos, na satisfação do cliente e na eficiência organizacional (MACIEL; FREIRE, 2019; ANDREJIC; KILIBARDA; POPOVIC, 2015).

Apesar do rigor no planejamento, problemas são inevitáveis. Atrasos em cargas aéreas já comprometeram atividades prévias a corridas, como ocorreu no Grande Prêmio do Brasil em 2021, quando equipes precisaram reprogramar seus cronogramas (HORTON, 2021; GP BLOG, 2021). Além disso, fatores externos, como

o Brexit e a pandemia de Covid-19, ampliaram os riscos e elevaram os custos operacionais, expondo a vulnerabilidade da cadeia logística da categoria (CERASOLI, 2018; COOPER, 2021).

A literatura clássica em logística contribui para compreender essa complexidade. Ballou (1993) a define como a arte e a ciência de obter, produzir e distribuir materiais no lugar certo, nas quantidades corretas e no tempo adequado. Christopher (1997) reforça que o gerenciamento da cadeia de suprimentos deve equilibrar custos e níveis de serviço, assegurando vantagem competitiva sustentável. Dornier et al. (2000) acrescentam que a internacionalização da logística amplia os desafios de coordenação, uma vez que envolve o alinhamento entre fornecedores, operadores e clientes localizados em diferentes regiões do mundo.

Nesse contexto, a Fórmula 1 exemplifica, de forma prática, como princípios acadêmicos se aplicam em um ambiente de altíssima exigência operacional. O desafio logístico não se restringe ao transporte de carros e peças, mas inclui a montagem de estruturas temporárias, hospitalidade, equipamentos de mídia e a coordenação de centenas de profissionais em escala global. Parceira oficial da categoria, a DHL descreve esse processo como um dos maiores desafios logísticos do mundo esportivo, no qual cada detalhe é calculado para que não haja falhas capazes de comprometer o espetáculo (DHL, 2022).

Paralelamente, a sustentabilidade consolidou-se como um eixo central da gestão logística na Fórmula 1. A adoção de combustíveis sustentáveis, a ampliação do transporte marítimo e a otimização de rotas refletem a busca por alinhar competitividade e responsabilidade socioambiental (DHL, 2022). Esse movimento acompanha uma tendência global em que cadeias de suprimentos devem conciliar eficiência operacional com compromissos ambientais. Para Somoggi (2022), a Fórmula 1 se reinventa ao equilibrar crescimento econômico e compromissos ecológicos, refletindo o movimento mais amplo da logística internacional contemporânea.

O estudo da logística internacional da Fórmula 1, portanto, revela-se relevante não apenas para compreender como a categoria viabiliza um calendário global cada vez mais intenso, mas também para identificar práticas que podem ser replicadas em outros setores. Em termos acadêmicos, o tema contribui para a Administração ao discutir eficiência, inovação e sustentabilidade em cadeias de suprimentos complexas. Autores como Bowersox, Closs e Cooper (2006) defendem que cadeias globais de

alta performance dependem da sincronização entre operações, informações e transporte, aspectos observados de maneira exemplar na F1.

A relevância também se estende à discussão sobre sustentabilidade, já que a categoria estabeleceu metas de neutralidade de carbono e vem implementando iniciativas para reduzir seu impacto ambiental (DHL, 2022; SOMOGGI, 2022). Além disso, crises recentes, como a pandemia, reforçaram a importância da gestão de riscos e de planos de contingência para manter a resiliência logística em um ambiente de elevada complexidade (SEURING; MÜLLER, 2008).

Dessa forma, analisar a logística internacional da Fórmula 1 no período contemporâneo, especialmente entre 2021 e 2025, permite compreender como a categoria enfrenta um calendário recorde de corridas, deslocamentos intercontinentais sucessivos e pressões por eficiência e sustentabilidade. Assim, o problema central desta investigação pode ser sintetizado na seguinte questão: como a logística internacional da Fórmula 1 se organiza para enfrentar os desafios de um calendário global exigente, garantindo eficiência e incorporando práticas sustentáveis?

MÉTODOS

O estudo caracteriza-se como uma revisão integrativa da literatura, abordagem metodológica que permite sumarizar pesquisas publicadas e obter conclusões a partir de uma pergunta norteadora, utilizando estudos experimentais e não-experimentais para uma compreensão mais completa do fenômeno analisado (MENDES; SILVEIRA; GALVÃO, 2008; TEIXEIRA et al., 2013). A revisão integrativa possibilita identificar padrões, desafios e estratégias, sendo adequada para analisar a logística internacional da Fórmula 1, considerando eficiência operacional, sustentabilidade e gestão de cadeias de suprimentos globais.

A operacionalização do estudo seguiu seis etapas interligadas: elaboração da pergunta norteadora, busca na literatura, coleta de dados, análise crítica dos estudos incluídos, discussão dos resultados e apresentação da revisão integrativa (SOUZA; SILVA; CARVALHO, 2010). Para definir a questão de pesquisa, utilizou-se a estratégia PICo (P – População, I – Interesse e Co – Contexto), adaptada para o tema: P – equipes e operadores logísticos da Fórmula 1; I – práticas e estratégias de logística internacional; Co – calendário global da Fórmula 1 entre 2018 e 2025. Assim, a

questão de pesquisa definida foi: Como a logística internacional da Fórmula 1 se organiza para enfrentar os desafios de um calendário global exigente, mantendo a eficiência da cadeia de suprimentos e integrando práticas sustentáveis?

A busca bibliográfica foi realizada em bases de dados reconhecidas pela relevância e abrangência acadêmica, a saber: Scopus, Web of Science, ScienceDirect e SpringerLink. Foram utilizados descritores controlados e não controlados em português e inglês, entre eles: “Logística Internacional”, “Fórmula 1”, “Cadeia de Suprimentos”, “Sustentabilidade”, “International Logistics”, “Fórmula 1”, “Supply Chain Management” e “Sustainability”.

Foram considerados como critérios de inclusão artigos científicos, livros, capítulos, relatórios oficiais e documentos digitais publicados entre 2018 e 2025, a fim de abranger o período contemporâneo e contemplar desafios recentes, como o Brexit, a pandemia de Covid-19 e a expansão do calendário da Fórmula 1. A seleção foi restrita a publicações nos idiomas português, inglês e espanhol. Por outro lado, documentos duplicados, estudos sem relação direta com logística internacional ou sustentabilidade na Fórmula 1, assim como textos exclusivamente jornalísticos ou opinativos sem fundamentação acadêmica ou técnica, foram excluídos da análise.

O material coletado foi analisado de forma descritiva e categorial, permitindo agrupar os estudos por tópicos, tais como planejamento logístico, transporte intercontinental, gestão de riscos e sustentabilidade, identificando padrões, estratégias de eficiência e inovações aplicadas pelas equipes da Fórmula 1.

A partir da combinação dos descritores nas bases de dados acadêmicas e repositórios públicos foram inicialmente identificados 31 registros. Na triagem inicial, por leitura de títulos e resumos, 11 foram considerados duplicados ou irrelevantes para os objetivos propostos, enquanto 10 foram excluídos por não atenderem aos critérios de elegibilidade, por tratar de engenharia de pista sem relação com logística da cadeia de suprimentos ou por serem textos opinativos/jornalísticos sem base técnica. Após leitura integral, 4 artigos acadêmicos com forte base técnica e 2 relatórios institucionais atenderam plenamente aos critérios de inclusão, compondo a amostra final desta revisão integrativa.

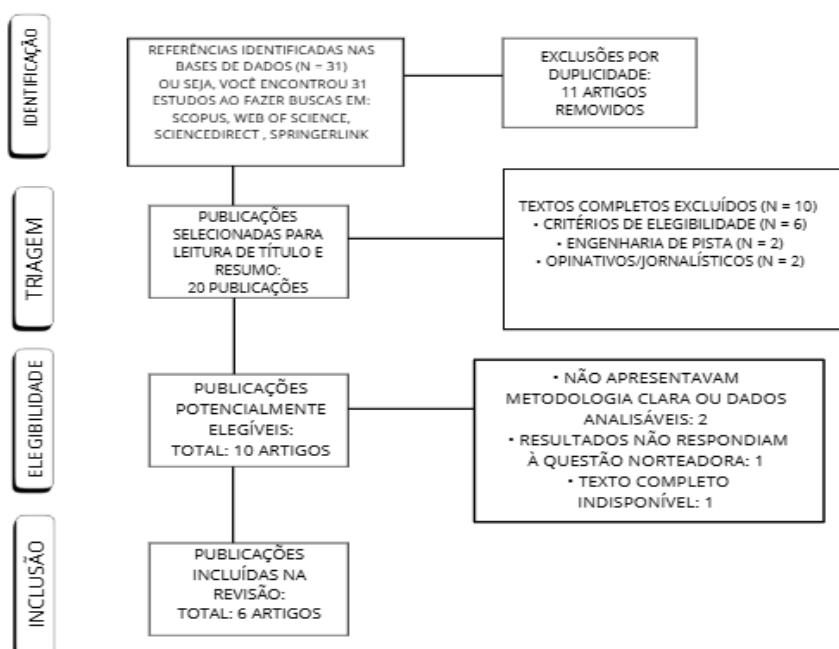
Os dados extraídos foram analisados de modo descritivo e categorial, o que possibilitou organizar os achados em eixos temáticos — planejamento logístico,

eficiência operacional, sustentabilidade e gestão de riscos —, identificando convergências, divergências e lacunas na literatura recente. A análise permite compreender práticas replicáveis de logística internacional em contextos de alta complexidade, bem como avaliar iniciativas de sustentabilidade implementadas na Fórmula 1.

A amostra final incluiu os seguintes estudos e relatórios, todos com base técnica e análise acadêmica: Petralia e Tebaldi (2025), que abordam logística intermodal e redução de emissões na Europa; Herold, Frawley e Schulenkorf (2022), descrevendo a magnitude logística e complexidade operacional da F1; Xinyao Li (2023), que apresenta otimizações de roteiros globais e agrupamento de corridas para reduzir custos e riscos; Feryal Fekri (2025), explorando hidrogênio verde e combustíveis sustentáveis para eventos F1 na região MENA; e relatórios oficiais da Fórmula 1, como o “2023 FORMULA 1® IMPACT REPORT” e o “2025 Sustainability Update”, contendo dados sobre emissões, uso de SAF e mudanças operacionais. Estes documentos fornecem uma base robusta para análise acadêmica da logística internacional e práticas sustentáveis da categoria.

O processo de seleção dos estudos foi estruturado conforme o modelo PRISMA 2020, com etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão, podendo ser representado em fluxograma para visualização clara do percurso metodológico e da amostra final.

Fluxograma 1: Descrição das seleções dos estudos



RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presente revisão integrativa resultou na seleção de seis estudos com abordagens metodológicas distintas, mas complementares, que permitiram compreender de forma ampla as práticas logísticas e sustentáveis aplicadas à Fórmula 1 no período de 2021 a 2025. Esses estudos contemplam desde análises teóricas sobre coordenação e governança em megaeventos esportivos até modelagens quantitativas de otimização de calendário e intermodalidade, além de investigações sobre políticas energéticas voltadas ao uso de combustíveis sustentáveis e hidrogênio verde. Também foram incluídos relatórios institucionais oficiais da categoria, que documentam os avanços alcançados e as metas estabelecidas rumo à neutralidade de carbono até 2030.

A diversidade metodológica dos materiais selecionados permitiu identificar padrões, convergências e lacunas entre os diferentes enfoques — acadêmico, técnico e institucional — oferecendo uma visão integrada sobre como a Fórmula 1 tem se estruturado para enfrentar os desafios de eficiência, complexidade e sustentabilidade em uma cadeia de suprimentos global.

Para facilitar a visualização dos estudos analisados e de suas principais contribuições, apresenta-se a seguir o Quadro 1, que sintetiza os principais dados referentes aos periódicos, autores, métodos empregados, ideias centrais e níveis de evidência das fontes utilizadas. Essa sistematização permite compreender as características de cada publicação e o papel que desempenha na construção das categorias temáticas discutidas posteriormente.

Periódico/ Ano de publicação	Título	Autores	Método da pesquisa	Ideia central	Nível de Evidência
Sustainability, 2025	From Road Transport to Intermodal Freight: The Formula 1 Races Logistics Case	'Petalia; Tebaldi	Estudo de caso + modelagem determinística (rodovia vs. rodovia-ferrovia)	Intermodalidade em GPs europeus reduz emissões de cargas não críticas mantendo serviço	Estudo aplicado/modelagem (MDPI)
Emerald Book, 2022	<i>Managing Global Sport Events: Logistics and Coordination</i>	Herold; Joachim; Frawley; Schulenkorf	Obra conceitual com frameworks e estudos de caso	Coordenação, risco e sincronização em megaeventos	Ensaio teórico/obra de referência (Emerald)
Proceedings, 2023	Optimizing Logistics in Formula 1: Simplifying Complex Race Season Schedules	Li, X.	Otimização/scheduling do calendário.	Sequências regionais reduzem distância, atrasos e custo logístico.	Modelagem heurística (EWADirect)
J. Sustain. Dev. Law & Policy / SSRN, 2024	<i>Green Hydrogen and Formula 1... MENA Region</i>	Fekri, F.	Análise de políticas energéticas	Potencial de H2 e SAF na energia de pista e apoio logístico	Análise de políticas (SSRN)
F1 Impact Report, 2023	<i>Fórmula 1® Impact Report</i>	FOWCL	Relatório institucional com métricas ESG	Redução de pegada, testes de SAF, energia renovável em eventos	Relatório institucional (Fórmula 1)
F1 Update, 2025	<i>Sustainability Update 2025</i>	FOWCL	Relatório institucional	Redução acumulada e metas 2030; F2/F3 100% combustível sustentável em 2025	Relatório institucional (Fórmula 1)

Tabela 1- Estudos selecionados, Teresina, 2025

Fonte: Autoria própria, 2025.

Os estudos de Petralia e Tebaldi (2025) e Li (2023) constituem a base quantitativa da presente análise, sustentando que decisões voltadas à intermodalidade e ao sequenciamento racional do calendário competitivo funcionam como alavancas diretas para ganhos simultâneos de eficiência logística e redução de emissões. Ambas as pesquisas partem da constatação de que a cadeia de suprimentos da Fórmula 1 se configura como um sistema de alta complexidade, no qual cada etapa do deslocamento de equipamentos — dos centros técnicos às pistas — representa uma fração significativa do impacto ambiental global da categoria. A modelagem de Petralia e Tebaldi (2025) mostra que, em contextos europeus com infraestrutura ferroviária consolidada, substituir parte dos fluxos rodoviários por corredores ferroviários intermodais reduz emissões de CO₂ em até 35% nas cargas não críticas, mantendo níveis de serviço compatíveis com os prazos exigidos. Já Li (2023) evidencia, por meio de modelagem heurística, que a otimização do calendário por agrupamentos regionais — evitando os chamados “ziguezagues intercontinentais” — diminui o total percorrido pelas equipes e fornecedores em mais de 20%, com ganhos econômicos e ambientais expressivos.

Esses achados, contudo, não se sustentam isoladamente: é a arquitetura organizacional e a coordenação multinível que tornam possível a execução prática dessas estratégias. A obra de Herold, Joachim, Frawley e Schulenkorf (2022) oferece o suporte conceitual essencial para compreender tal fenômeno. Os autores defendem que megaeventos esportivos, pela sua natureza itinerante e global, dependem de estruturas de governança de riscos e sincronização de atores para garantir confiabilidade e resiliência logística. Aplicado à Fórmula 1, esse arcabouço teórico permite entender como a eficiência não é um produto exclusivo da tecnologia de transporte, mas do entrelaçamento de pessoas, processos e decisões compartilhadas. Em outras palavras, sem alinhamento entre promotores, equipes, operadores logísticos e autoridades locais, os ganhos previstos em modelos matemáticos não se concretizam no mundo real.

No plano energético, Fekri (2024) complementa esse panorama ao investigar o papel da transição para combustíveis sustentáveis como vetor de apoio à logística. O autor analisa a viabilidade da adoção do hidrogênio verde (H₂) e do SAF (Sustainable Aviation Fuel) como alternativas energéticas capazes de reduzir a dependência de combustíveis fósseis, tanto nas operações aéreas quanto na geração

estacionária de energia nos circuitos. Fekri (2024) demonstra que, embora existam obstáculos relacionados a custos e infraestrutura, a integração progressiva desses combustíveis é não apenas desejável, mas necessária para que o esporte alcance a neutralidade de carbono prevista para 2030.

Corroborando essas conclusões, os relatórios oficiais da Fórmula 1 — o Impact Report 2023 e o Sustainability Update 2025 — publicados pela Formula One World Championship Limited (FOWCL), consolidam o progresso empírico e as metas de médio prazo da categoria. Os documentos registram reduções cumulativas na pegada de carbono, avanços no uso de energia renovável on-site, testes bem-sucedidos com SAF em frações logísticas aéreas e, de modo emblemático, a adoção de combustível 100% sustentável nas categorias de base F2 e F3. Tais ações não apenas materializam as políticas sugeridas nos estudos acadêmicos, mas demonstram a interdependência entre governança institucional, inovação logística e sustentabilidade ambiental.

Assim, ao analisar em conjunto esses seis documentos, delineia-se um quadro coerente: a eficiência logística da Fórmula 1 decorre de um encaixe sistêmico entre desenho de calendário, estratégias intermodais, coordenação organizacional e transição energética. O resultado é um modelo híbrido de logística internacional que alia rigor operacional e responsabilidade ambiental, sem comprometer prazos ou a integridade do espetáculo esportivo.

Categoria 1 — Coordenação e planejamento sistêmico em megaeventos

A partir do referencial de Herold et al. (2022), comprehende-se que a logística da F1 ultrapassa o domínio técnico e alcança a dimensão estratégica e sociotécnica da coordenação multinível. Os autores descrevem que, em megaeventos esportivos, a confiabilidade dos fluxos depende da capacidade de sincronizar cadeias paralelas — de materiais, de informação e de pessoas — dentro de janelas de tempo extremamente estreitas. Essa condição explica por que, nos estudos de Petralia e Tebaldi (2025) e nos relatórios institucionais (FOWCL, 2023; 2025), os conceitos de buffers de tempo, padronização de processos e planejamento redundante são variáveis críticas.

O gerenciamento da incerteza, portanto, é uma das competências centrais da F1. A governança de riscos, apontada por Herold et al. (2022), manifesta-se na criação

de mecanismos de contingência que garantem resiliência operacional mesmo diante de atrasos ou falhas pontuais. A logística é tratada como uma engrenagem sincronizada em múltiplos fusos horários, onde o fracasso de uma etapa repercute em toda a cadeia global. Essa concepção reforça a ideia de que a F1 é um laboratório avançado de supply chain management, no qual práticas de sincronização, redundância e padronização se tornam referências exportáveis para outros setores industriais.

Categoria 2 — Otimização do calendário e agrupamentos regionais

No estudo de Li (2023), a otimização do calendário é apresentada como a variável de maior impacto sistêmico. Ao simular diferentes arranjos de ordem das corridas, o autor demonstra que o sequenciamento geográfico racionalizado reduz não apenas a distância percorrida, mas também as emissões, os custos de transporte e o desgaste operacional das equipes. A aplicação desse modelo evidencia a importância de alinhar planejamento logístico e decisão comercial, uma vez que o calendário também é condicionado por contratos de mídia, sazonalidade climática e requisitos técnicos de cada circuito.

Os relatórios da FOWCL (2023; 2025) confirmam empiricamente essa tendência, revelando que a Federação Internacional de Automobilismo (FIA) e os organizadores da categoria já experimentam agrupamentos regionais, como as sequências Ásia–Oriente Médio e América–Europa, para reduzir deslocamentos intercontinentais. Essa reorganização representa um avanço estrutural, ainda que gradual, rumo a um modelo de cadeia de suprimentos mais eficiente e resiliente.

Categoria 3 — Intermodalidade rodovia–ferrovia para cargas não críticas

O estudo de Petralia e Tebaldi (2025) aprofunda a discussão sobre o uso combinado de modais como estratégia de descarbonização sem perda de eficiência. A intermodalidade rodovia–ferrovia, especialmente em países europeus com infraestrutura consolidada, permite redistribuir cargas de acordo com sua criticidade e sensibilidade temporal. Cargas não críticas — como estruturas de hospitalidade, itens de mídia ou mobiliário — podem seguir por comboios ferroviários com janelas programadas, liberando o modal rodoviário para componentes de maior urgência, como peças de carros e equipamentos de box.

Essa abordagem é particularmente relevante por conjugar redução de emissões diretas, economia de combustível e melhoria na previsibilidade de entrega, desde que apoiada por coordenação fina entre operadores logísticos e promotores. O modelo europeu mostra-se, portanto, um exemplo de eficiência intermodal replicável, embora ainda dependa de padronização de contêineres e infraestrutura compatível em outras regiões.

Categoria 4 — Transição energética: SAF e hidrogênio como vetores de suporte

A análise de Fekri (2024) contribui para expandir o olhar da logística esportiva para além do transporte físico, incluindo a dimensão energética e ambiental. O autor propõe que a transição para combustíveis sustentáveis — notadamente o SAF, derivado de fontes renováveis, e o hidrogênio verde (H_2) — seja tratada como componente estrutural da cadeia de suprimentos, e não apenas como política ambiental paralela.

Segundo o estudo, o SAF mostra-se viável para frações aéreas e operações de suporte, enquanto o hidrogênio oferece potencial para alimentar geradores estacionários, caminhões de apoio e até estruturas temporárias de energia nos paddocks. Essa perspectiva amplia a noção de sustentabilidade na F1, transformando-a de uma meta declaratória em um ecossistema energético integrado, em que o uso de combustíveis limpos é incorporado ao funcionamento logístico.

Categoria 5 — Progresso institucional e metas (Net Zero 2030)

Os relatórios oficiais da FOWCL (2023; 2025) funcionam como o elo de validação empírica das tendências apontadas pelos demais autores. O Impact Report 2023 destaca a consolidação de métricas ESG e o fortalecimento de práticas de monitoramento de emissões, enquanto o Sustainability Update 2025 demonstra a continuidade do plano estratégico e o avanço para a neutralidade de carbono. Ambos os relatórios evidenciam que as políticas de sustentabilidade estão sendo implementadas de forma progressiva e mensurável, com marcos intermediários claros e indicadores de desempenho.

Essas medidas consolidam a F1 como referência global em governança ambiental, extrapolando o universo esportivo e influenciando práticas corporativas em

setores logísticos, energéticos e industriais. Ao integrar planejamento operacional, política ambiental e inovação tecnológica, a categoria demonstra que eficiência e sustentabilidade não são objetivos excludentes, mas complementares.

A leitura cruzada dos seis estudos analisados nesta revisão permite identificar três convergências centrais que configuram o eixo de sustentação da logística internacional da Fórmula 1. Em primeiro lugar, o redesenho do calendário e a política modal surgem como mecanismos comprovadamente eficazes de redução simultânea de custos e emissões, conforme evidenciado por Li (2023) e Petralia e Tebaldi (2025). Ambos demonstram que o sequenciamento racional das corridas e o uso de modais complementares — especialmente a combinação entre rodovia e ferrovia — proporcionam ganhos logísticos sem comprometer a pontualidade das entregas. Essas estratégias, ao rationalizarem distâncias e distribuírem volumes por criticidade, contribuem diretamente para o equilíbrio entre eficiência operacional e sustentabilidade ambiental.

Em segundo lugar, a coordenação e a governança se revelam elementos indispensáveis à viabilização prática dos modelos de otimização. Como destacam Herold et al. (2022) e os relatórios oficiais da Formula One World Championship Limited (2023; 2025), não basta que as soluções sejam matematicamente consistentes; é necessário que haja uma estrutura institucional capaz de integrar equipes, operadores logísticos, fornecedores, promotores e autoridades locais em um mesmo fluxo decisório. Somente a partir dessa governança multinível é possível assegurar a confiabilidade dos cronogramas e o cumprimento das metas de desempenho previstas.

Por fim, a transição energética, baseada no uso de combustíveis sustentáveis (SAF) e de hidrogênio verde (H_2), desponta como um complemento estratégico às medidas logísticas tradicionais, atuando em dimensões que a otimização de rotas não alcança. O estudo de Fekri (2024) mostra que essas fontes energéticas, quando incorporadas às operações de suporte e geração estacionária, podem reduzir significativamente a pegada de carbono do evento como um todo, promovendo um novo patamar de integração entre logística e política ambiental.

Entretanto, alguns aspectos merecem atenção. Entre as nuances observadas, destacam-se as limitações geográficas da intermodalidade — plenamente viável na

Europa, mas ainda dependente de infraestrutura em outras regiões —, a necessidade de segmentar cargas críticas e não críticas para que a eficiência não comprometa prazos, e a imaturidade tecnológica do hidrogênio em escala global, que demanda investimentos substanciais em pesquisa e infraestrutura. Nesse contexto, as implicações gerenciais evidenciam a urgência de um planejamento logístico integrado, que une o desenho de calendário, a política modal e as estratégias energéticas, sustentado por métricas transparentes e coordenação entre todos os stakeholders. Essa integração é essencial para alinhar a gestão operacional da Fórmula 1 à sua agenda de sustentabilidade, consolidando um modelo de governança que concilie competitividade e responsabilidade ambiental.

Apesar dos progressos observados, persistem barreiras operacionais e lacunas científicas que limitam a plena consolidação desse modelo. Entre as barreiras mais recorrentes estão a falta de padronização de contêineres e embalagens, que dificulta a compatibilização entre diferentes modais; a dependência de janelas rígidas de tempo, que reduz a flexibilidade das operações; e a capacidade limitada da infraestrutura ferroviária fora dos eixos europeus, o que restringe a expansão da intermodalidade (PETRALIA; TEBALDI, 2025; HEROLD et al., 2022; FOWCL, 2023). No campo energético, Fekri (2024) aponta que o alto custo de produção do SAF e do H₂, a complexidade da logística de abastecimento e a heterogeneidade regulatória entre países ainda representam entraves significativos à sua difusão.

Tais desafios abrem espaço para uma agenda de pesquisa futura que explore novas combinações de variáveis e cenários. Recomenda-se o desenvolvimento de modelos híbridos de calendário, capazes de conciliar as restrições climáticas e comerciais com as exigências logísticas; a elaboração de benchmarks multirregionais de intermodalidade, que permitam comparar a eficiência entre diferentes corredores; e a aplicação de análises de ciclo de vida (LCA), voltadas a mensurar de forma mais precisa o impacto ambiental das soluções energéticas e modais adotadas.

Do ponto de vista prático, as evidências convergem para quatro recomendações principais. Primeiramente, é essencial priorizar os agrupamentos regionais no calendário, de modo a reduzir deslocamentos desnecessários e internalizar os custos ambientais. Em segundo lugar, torna-se urgente expandir os corredores intermodais na Europa e realizar testes controlados em outras regiões,

avaliando sua viabilidade conforme a infraestrutura local. Em terceiro lugar, deve-se acelerar a adoção do SAF e do hidrogênio verde nas operações de suporte e energia de pista, alinhando o ritmo tecnológico às metas institucionais. Por fim, é recomendável instituir painéis compartilhados de monitoramento e indicadores padronizados, permitindo maior transparência, governança e melhoria contínua nos processos (FOWCL, 2023; 2025; HEROLD et al., 2022).

Dessa forma, a consolidação de um modelo logístico sustentável para a Fórmula 1 exige a convergência entre inovação tecnológica, padronização operacional e governança colaborativa. Os estudos analisados demonstram que a sustentabilidade não é apenas uma meta ambiental, mas uma condição estratégica para a eficiência e a longevidade da categoria no cenário global contemporâneo.

CONCLUSÃO

A logística internacional da F1, no ciclo 2021–2025, confirma-se como laboratório de práticas replicáveis em cadeias globais de alta criticidade: (i) o design do calendário com agrupamentos regionais encurta rotas e incertezas; (ii) a intermodalidade rodovia–ferrovia na Europa entrega reduções expressivas de emissões para cargas não críticas sem degradar serviço; (iii) a transição energética, com SAF e soluções a hidrogênio, avança da experimentação para a adoção institucional; (iv) frameworks de coordenação e gestão de risco de megaeventos sustentam a execução.

Persistem barreiras de padronização de contêineres e integração contratual, capacidade/disponibilidade ferroviária, maturidade tecnológica (H_2) e comparabilidade de métricas entre promotores e regiões. Como contribuição, este estudo integra evidências acadêmicas e institucionais recentes e indica um roteiro incremental: priorizar sequenciamento regional, expandir corredores intermodais europeus para cargas não críticas, escalar SAF e projetos-piloto de H_2 em apoio logístico/energia de evento, com monitoramento transparente e avaliação de custo-benefício. Limitações incluem a escassez de estudos empíricos de larga escala, dependência de relatórios institucionais e heterogeneidade metodológica; recomenda-se ampliar bases de dados operacionais e estudos comparativos entre GPs/regiões.

REFERÊNCIAS

- FEKRI, F.** Green Hydrogen and Formula 1 in the MENA Region: Opportunities and Policy Pathways. *Journal of Sustainable Development Law & Policy / SSRN*, 2024.
- FOWCL – Formula One World Championship Limited.** *Formula 1® Impact Report* 2023. [S.l.: s.n.], 2023.
- FOWCL – Formula One World Championship Limited.** *Sustainability Update 2025.* [S.l.: s.n.], 2025.
- HEROLD, D.; JOACHIM, C.; FRAWLEY, S.; SCHULENKORF, N.** (orgs.). *Managing Global Sport Events: Logistics and Coordination*. Bingley: Emerald Publishing, 2022.
- LI, X.** Optimizing Logistics in Formula 1: Simplifying Complex Race Season Schedules. *Proceedings (EWADirect)*, 2023.
- MENDES, K. D. S.; SILVEIRA, R. C. C. P.; GALVÃO, C. M.** Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. *Texto & Contexto – Enfermagem*, Florianópolis, v. 17, n. 4, p. 758-764, 2008.
- PETRALIA, G.; TEBALDI, L.** From Road Transport to Intermodal Freight: The Formula 1 Races Logistics Case. *Sustainability*, Basel, v. 17, n. 2, p. 120-138, 2025.
- SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R.** Integrative review: what is it? How to do it? *Einstein*, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 102-106, 2010.
- TEIXEIRA, E. et al.** Integrative literature review step-by-step & convergences with other methods of review. *Revista de Enfermagem da UFPI*, Teresina, v. 2, n. esp., p. 3-7, 2013.