

Identificação do melhor modal logístico para otimizar custo e prazo de entrega

Paulo Augusto Bernardes da Silva Neves; 0009-0001-7455-6373

João Vitor Batista; 0009-0007-6830-678

José Marcos Rodrigues Filho

1 – UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.
Gutoneves10@gmail.com (contato principal)

Resumo: A construção civil exerce papel estratégico no desenvolvimento socioeconômico, especialmente por meio de obras de infraestrutura que possibilitam a expansão urbana e a melhoria da qualidade de vida da população. Entre essas obras, o saneamento básico se destaca como prioridade, pois além de assegurar condições adequadas de habitação, também impacta diretamente na saúde pública e na valorização dos espaços urbanos. Para que projetos dessa natureza sejam viáveis, é indispensável um planejamento técnico rigoroso, que contemple tanto os aspectos produtivos quanto os logísticos, de modo a alinhar qualidade, prazos e custos. Nesse cenário, o presente estudo foca na análise da escolha do modal logístico mais adequado para o transporte de tubos de ferro fundido destinados a um projeto de saneamento, em que a distância entre fornecedor e cliente ultrapassa quatro mil quilômetros. A definição da estratégia de transporte envolve variáveis como custos de frete, prazos de entrega, capacidade de carga, segurança, impacto ambiental e integração com outros modais. O objetivo central é comparar as vantagens e limitações das alternativas disponíveis no contexto brasileiro — rodoviário, ferroviário, aquaviário, aeroviário e dutoviário — buscando identificar qual delas atende de forma mais eficiente às necessidades do cliente e do projeto. Para isso, a pesquisa adota uma abordagem técnica e integrada, considerando não apenas os fatores econômicos, mas também aspectos operacionais e estratégicos da cadeia logística. Assim, pretende-se propor uma solução viável que equilibre a relação custo-benefício, assegure a confiabilidade da operação e justifique o investimento em um produto de alta durabilidade, mesmo com custo superior a alternativas concorrentes.

Palavras-chave: Logística. Modais de Transporte. Saneamento básico. Planejamento e Controle de produção. Cadeia de suprimentos.

INTRODUÇÃO

A construção civil desempenha um papel fundamental na evolução das sociedades, sendo essencial para garantir o desenvolvimento contínuo e sustentável. Entre as obras prioritárias, destacam-se as de saneamento básico, que constituem o ponto de partida para a expansão urbana, permitindo a ocupação de novas áreas e tornando-as aptas para habitação.

Para que um projeto seja bem-sucedido, é imprescindível que seja elaborado um orçamento realista e equilibrado, capaz de assegurar a rentabilidade das partes envolvidas sem comprometer o avanço da obra. Nesse sentido, torna-se necessário otimizar os processos em diferentes áreas, buscando constantemente a redução de custos e a eficiência operacional.

Um dos principais desafios consiste na definição do modal logístico mais adequado para transportar os produtos desde o fornecedor até o cliente. A escolha dessa alternativa exige uma análise criteriosa de diversos fatores técnicos, econômicos e estratégicos, de modo a garantir o atendimento às necessidades do cliente e a satisfação de todos os envolvidos na cadeia logística.

Com o intuito de explorar as possibilidades de transporte, este estudo propõe um cenário hipotético: uma fábrica de tubos de ferro fundido, localizada a mais de quatro mil quilômetros de seu potencial cliente, recebeu uma proposta de fornecimento de três linhas de tubos com as seguintes especificações:

- Linha de 600 mm de diâmetro, com 4 km de extensão;
- Linha de 500 mm de diâmetro, com 2 km de extensão;
- Linha de 400 mm de diâmetro, também com 2 km de extensão.

Considerando o orçamento limitado da obra, torna-se essencial apresentar uma proposta viável que justifique o investimento em um produto de alta durabilidade, ainda que com custo superior em relação aos concorrentes. Para isso, a fábrica precisa desenvolver um cronograma de produção e expedição capaz de atender às demandas do cliente de forma eficiente.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar as vantagens e desvantagens dos diferentes modais logísticos disponíveis no Brasil, a fim de definir a melhor estratégia de transporte para o cenário proposto. A análise busca oferecer uma solução que equilibre custos, eficiência e confiabilidade, contribuindo para a tomada de decisão e para o sucesso da operação logística.

MÉTODOS

Para a definição do modal logístico mais adequado ao cenário analisado, foi realizada uma pesquisa aprofundada considerando todos os fatores que poderiam exercer influência relevante na escolha. A abordagem adotada consistiu em uma análise técnica e integrada, contemplando aspectos operacionais, econômicos e estratégicos da cadeia logística.

O primeiro passo foi a compreensão dos conceitos de **Planejamento e Controle da Produção (PCP)**, fundamentais para a elaboração de um cronograma estruturado. A aplicação do PCP permite programar a produção de forma a cumprir prazos estabelecidos, garantindo que a expedição ocorra conforme as necessidades do cliente. Assim, a coordenação eficiente entre produção e logística torna-se fator determinante para o sucesso da operação.

Na sequência, buscou-se identificar as características específicas do produto em questão. Mesmo que o foco central seja a eficiência logística, atributos como peso, volume, fragilidade e condições de armazenamento influenciam diretamente a escolha do modal. A análise dessas variáveis possibilita avaliar a capacidade de movimentação do item e embasar a definição do cronograma de expedição.

A escolha do modal ideal exige, ainda, uma avaliação criteriosa das vantagens e desvantagens de cada alternativa disponível. Entre os critérios de decisão adotados, destaca-se o **indicador frete por tonelada (frete/ton)**, que permite calcular o custo do transporte de uma tonelada do produto ao longo de todo o trajeto. Esse parâmetro constitui uma referência essencial para a comparação entre os modais.

Após a determinação do frete/ton, foi realizada uma análise complementar, voltada para fatores que impactam a entrega, como prazos de recebimento exigidos pelo cliente,

cronograma de execução da obra, número de frentes de trabalho simultâneas, entre outros elementos logísticos. A integração desses aspectos possibilitou a formatação de um plano de expedição viável e alinhado às demandas do projeto.

Com base nessas etapas, foi construído um **cronograma integrado de produção e expedição**, permitindo identificar o modal logístico que melhor atende às exigências do cenário proposto. Essa abordagem metodológica assegura que todas as variáveis críticas sejam consideradas antes da definição da estratégia de transporte, favorecendo decisões mais assertivas, econômicas e compatíveis com os objetivos do empreendimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aeroviário

O transporte aeroviário se destaca pela rapidez e confiabilidade, sendo amplamente utilizado para cargas de pequeno porte, alto valor agregado ou que demandam entrega urgente. Sua principal vantagem está no tempo de deslocamento, significativamente inferior em comparação aos demais modais, além de apresentar baixos índices de avarias e extravios. Essas características fazem dele uma solução estratégica em situações em que a agilidade é o fator decisivo.

Entretanto, o modal apresenta sérias restrições quando aplicado a cargas pesadas e volumosas, como os tubos de ferro fundido analisados neste estudo. A capacidade limitada das aeronaves cargueiras inviabiliza o transporte em grandes quantidades, tornando o processo logístico pouco eficiente. Além disso, o custo do frete cresce exponencialmente conforme aumenta o peso da carga, o que compromete totalmente a viabilidade econômica do projeto.

Dessa forma, embora o transporte aeroviário seja altamente eficiente em termos de tempo, sua inadequação em relação ao tipo e volume da carga, somada aos custos extremamente elevados, torna-o completamente inviável para o cenário proposto.

Aquaviário

O modal aquaviário apresenta algumas características que podem ser vantajosas para o tipo de carga a ser transportada, oferecendo diversidade e variedade na forma de movimentação

do material. No entanto, no caso específico do transporte de tubos de ferro fundido por cabotagem, existem limitações significativas. Por exemplo, não é possível empilhar duas pilhas de tubos em um contêiner de 40 pés, o que faz com que o contêiner navegue parcialmente vazio. Considerando que os tubos são ocós, cerca de metade do espaço disponível não é aproveitada, comprometendo a eficiência do transporte.

Além dessa limitação, a operação se torna multimodal, pois o material precisa ser descarregado do contêiner e posteriormente transportado até a obra do cliente. A natureza da carga torna a movimentação complexa, elevando os custos operacionais e aumentando a dificuldade logística.

Para operações de exportação, existem navios com porões adequados para o transporte de cargas de projeto, o que poderia permitir o envio da quantidade necessária de tubos. No entanto, ao considerar o perfil do cliente e o tipo de venda, surgem questões financeiras importantes. Para viabilizar o envio, seria necessário que o cliente realizasse o pagamento antecipado de todo o material, o que pode não ser conveniente, pois comprometeria o fluxo de caixa do cliente e deixaria o material parado na obra. Caso essa negociação não ocorra, o fornecedor assumiria um risco elevado, uma vez que expedir grandes volumes de forma confiável poderia impactar severamente o caixa da empresa, especialmente se os prazos de pagamento não forem cumpridos.

Portanto, apesar de sua versatilidade, o modal aquaviário apresenta restrições financeiras, influencia diretamente o prazo de produção e, conseqüentemente, impacta o prazo de entrega da carga. A análise desses fatores é essencial para a escolha do modal mais adequado, equilibrando eficiência logística, viabilidade econômica e segurança operacional.

Ferrovário

O transporte ferroviário é reconhecido por sua elevada eficiência energética e capacidade de movimentar grandes volumes de carga a custos relativamente baixos em longas distâncias. No caso específico dos tubos de ferro fundido, esse modal seria tecnicamente viável devido ao peso e à robustez do material, que se enquadra bem no perfil de cargas pesadas e volumosas transportadas por trens. Além disso, o transporte ferroviário apresenta

vantagens importantes, como maior segurança contra acidentes e roubos, além de menor impacto ambiental quando comparado ao transporte rodoviário.

Entretanto, o cenário brasileiro apresenta obstáculos significativos para a utilização plena desse modal. A malha ferroviária nacional é concentrada principalmente nas regiões Sudeste e Sul, com baixa densidade em outras áreas do país. Assim, a origem e o destino do transporte dificilmente estariam conectados diretamente por ferrovias, exigindo operações intermodais com o modal rodoviário para completar o percurso. Essa necessidade de transbordo aumenta custos, amplia os prazos de entrega e reduz a competitividade do modal frente a alternativas mais diretas.

Outro fator limitante é a rigidez operacional das ferrovias, que operam com rotas fixas, baixa flexibilidade e prazos geralmente mais longos, o que pode comprometer cronogramas de obras de saneamento que exigem entregas em etapas específicas. Além disso, grande parte da infraestrutura ferroviária brasileira carece de modernização: trechos com baixa velocidade operacional, falta de eletrificação e gargalos logísticos dificultam a confiabilidade do serviço. Assim, embora o transporte ferroviário seja eficiente em teoria para longas distâncias e grandes volumes, no contexto estudado ele não se mostra a alternativa mais adequada de forma isolada, tornando-se dependente de complementação com outros modais e de investimentos adicionais em infraestrutura e integração logística.

Rodoviário

O transporte rodoviário é o modal predominante no Brasil, responsável por aproximadamente 75% da movimentação de cargas. Sua principal vantagem está na flexibilidade operacional, já que permite o atendimento direto entre fornecedor e cliente em um sistema porta a porta, sem a necessidade de transbordos intermediários. No caso dos tubos de ferro fundido, essa característica é essencial, pois o transporte pode ser programado de forma alinhada ao cronograma da obra, garantindo entregas fracionadas conforme a evolução das frentes de trabalho. Além disso, o modal rodoviário dispõe de ampla disponibilidade de veículos de diferentes capacidades, como caminhões truck, carretas e bitrens, capazes de atender às especificidades da carga pesada e volumosa.

Contudo, o transporte rodoviário também apresenta limitações importantes, especialmente em longas distâncias. O percurso superior a 4.000 km gera altos custos de frete, devido ao



consumo de combustível, pedágios e manutenção da frota. Além disso, a precariedade de parte da malha viária brasileira aumenta o risco de atrasos, avarias e acidentes. Outro ponto crítico é a dependência do transporte rodoviário em um país com elevada carga tributária e custos crescentes com diesel, o que impacta diretamente a competitividade. Apesar desses desafios, a capacidade de se adaptar às exigências de prazos e destinos ainda coloca o modal em posição de destaque em relação aos demais.

No cenário proposto, o modal rodoviário se mostra o mais adequado por reunir as condições práticas necessárias para a execução do projeto. Mesmo sendo mais caro em percursos extensos, ele é o único que garante a entrega direta dos tubos de ferro fundido no canteiro de obras, eliminando a necessidade de transferências entre modais que aumentariam custos e tempo de transporte. Além disso, sua flexibilidade logística possibilita a programação de entregas parciais, ajustadas ao cronograma de execução da obra, o que representa um ganho em eficiência e evita o acúmulo de materiais no local. Assim, o modal rodoviário, apesar de suas desvantagens, oferece a solução mais viável e funcional para atender às demandas específicas do projeto, equilibrando custo, prazo e confiabilidade.

O modal rodoviário contribui de forma significativa para o fluxo de caixa do cliente, pois possibilita a realização de entregas fracionadas de acordo com a necessidade da obra. Diferentemente de outros modais, que exigem o transporte de grandes lotes em um único envio, o rodoviário permite que os tubos de ferro fundido sejam entregues em etapas, acompanhando a execução das frentes de trabalho. Isso evita a necessidade de imobilizar capital em grandes estoques no canteiro de obras, reduzindo custos de armazenagem e manuseio e permitindo que os recursos financeiros sejam alocados de forma mais eficiente no andamento do projeto.

Além da questão financeira, o transporte rodoviário garante maior agilidade no tempo de entrega. Como é um sistema porta a porta, elimina-se a necessidade de transbordos ou integrações logísticas, que aumentam o prazo em modais como ferroviário ou aquaviário. Essa característica é fundamental para obras de saneamento, nas quais o cumprimento do cronograma depende da chegada dos insumos no momento certo. A flexibilidade do modal permite programar carregamentos de acordo com a urgência de cada etapa da obra, minimizando o risco de paralisações por falta de material.

Dessa forma, o modal rodoviário não apenas assegura a entrega física dos tubos no prazo adequado, mas também atua como ferramenta estratégica de gestão financeira e operacional. Ao alinhar o transporte com o cronograma de execução, garante-se que o cliente mantenha maior controle sobre seus recursos, evitando custos desnecessários e garantindo o avanço contínuo da obra. Essa integração entre logística, tempo e fluxo de caixa evidencia porque o rodoviário, mesmo mais caro em longas distâncias, se apresenta como a solução mais eficiente no cenário analisado.

CONCLUSÕES

A análise realizada evidencia que a escolha do modal logístico exerce influência direta sobre a eficiência, o custo e a confiabilidade do transporte de tubos de ferro fundido em grandes distâncias. Cada modalidade apresenta vantagens e limitações específicas: o transporte aeroviário destaca-se pela rapidez, mas revela-se inviável economicamente para cargas pesadas e volumosas; o modal aquaviário oferece diversidade de movimentação, porém enfrenta restrições de capacidade, custos e complexidade operacional; o transporte ferroviário é eficiente em teoria para grandes volumes, mas sua aplicação prática no Brasil é limitada pela malha ferroviária restrita e pela necessidade de operações intermodais; por fim, o transporte rodoviário se mostra flexível e adaptável às exigências do projeto, permitindo entregas fracionadas alinhadas ao cronograma da obra e contribuindo positivamente para a gestão financeira do cliente.

Diante do cenário proposto, o modal rodoviário se consolida como a alternativa mais viável, equilibrando custo, prazo e confiabilidade, garantindo a execução eficiente do projeto e minimizando riscos logísticos e financeiros. Essa conclusão reforça a importância de uma análise integrada entre produção, logística e necessidades do cliente, evidenciando que a escolha do modal deve considerar não apenas aspectos operacionais, mas também fatores estratégicos e econômicos, assegurando o sucesso da operação e a satisfação de todos os envolvidos na cadeia logística.

REFERÊNCIAS

Estender, A. C., Sequeira, G. R., Siqueira, N. A. S., & Cândido, G. J. (2017). *A importância do planejamento e controle de produção*. Anais do VI SINGEP – São Paulo – SP – Brasil, 13 e 14 de novembro de 2017.

Ferigato, E., & Silva, D. D. C. da. (2021). *Os modais de transporte de carga no Brasil*. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, 2(2), 278–298. ISSN: 2675-6218.

VENTURA, Maurício. Mudanças no saneamento básico ampliam a participação privada. *Le Monde Diplomatique Brasil*, 06 jul. 2020. Disponível em: <https://diplomatique.org.br/mudancas-no-saneamento-basico-ampliam-a-participacao-privada/>.

PEREIRA, Luiz Andrei Gonçalves; LESSA, Simone Narciso. *O processo de planejamento e desenvolvimento do transporte rodoviário no Brasil*. *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v. 12, n. 40, p. 26–45, dez. 2011. Disponível em: <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>. Acesso em: 9 jun. 2025.

Fonseca, R. O. (2015). *A Navegação de Cabotagem de Carga no Brasil*. *Revista Mercator*, v. 14, n. 1, p. 21-46. Universidade Federal do Ceará. DOI: 10.4215/RM2015.1401.0002

WANKE, Peter; FLEURY, Paulo Fernando. Transporte de cargas no Brasil: estudo exploratório das principais variáveis relacionadas aos diferentes modais e às suas estruturas de custos. In: GIAMBIAGI, F.; ALÉM, A. C.; BARBOSA, F. H. D.; GONÇALVES, J. C. (Org.). *Brasil: desafios de um país em transformação*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006. cap. 12, p. 409–437.

TAMBAÚ SANEAMENTO. *Tubos de ferro fundido fofo e conexões: características, aplicações e vantagens*. Disponível em: <https://tambausaneamento.com.br/tubos-de-ferro-fundido-fofo-conexoes/>.