

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE GESTÃO E NEGÓCIOS
GRADUAÇÃO EM GESTÃO DA INFORMAÇÃO**

TALITTA BASTOS SILVA

**Módulos de visualização e análise de dados em uma solução de software de otimização
logística**

ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ EDUARDO FERREIRA LOPES

UBERLÂNDIA – MG

2024

TALITTA BASTOS SILVA

**Módulos de visualização e análise de dados em uma solução de software de otimização
logística**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em
Gestão da Informação, da Universidade Federal de
Uberlândia, como exigência parcial para a obtenção
do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Ferreira Lopes

UBERLÂNDIA – MG

2024

RESUMO

Este relato tecnológico explora o processo de melhoria em uma solução de software voltada para a otimização logística ferroviária e multimodal, com foco na integração de módulos de visualização e análise de dados. Diante da complexidade das operações logísticas, a solução foi concebida para com a finalidade de obter o planejamento mensal de fluxos de transporte multimodais, partindo de premissas e restrições operacionais reais. A solução de software integra técnicas avançadas de simulação e otimização de dados para alcançar um cenário com melhores resultados através de decisões logísticas mais embasadas e estratégicas. Os módulos de visualização de dados desempenham um papel estratégico nessa solução permitindo aos usuários identificar padrões, acompanhar o desempenho de operações ao longo do tempo e ajustar as atividades operacionais reais com base nas análises preditivas extraídas diretamente dos dados. Objetivou-se com este relato tecnológico descrever o processo de desenvolvimento de módulos de visualização e análise de dados que integram e apoiam essa solução de otimização logística. Através da criação desses módulos, foi possível oferecer uma interface amigável e informativa, facilitando a tomada de decisões e promovendo ganhos substanciais em eficiência e eficácia na aplicação do planejamento nas operações logísticas ferroviárias e multimodais.

Palavras-chave: Módulos de Visualização; Solução de software; Otimização Logística.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
2.1 Otimização Logística	6
2.2 Softwares de Simulação e Otimização	7
2.3 Módulos de Visualização de Dados e Análise Integrada	7
3 CONTEXTO INVESTIGADO E SITUAÇÃO PROBLEMA	9
3.1 A Empresa	9
3.2 A Solução	10
3.3 Situação Problema	12
4 INTERVENÇÃO ADOTADA	14
5 RESULTADOS ALCANÇADOS	18
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	21
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

1 INTRODUÇÃO

No cenário atual da logística, cresce a conscientização e o uso de ferramentas preditivas, que utilizam dos dados para obter decisões mais assertivas e otimizando operações complexas. Os avanços computacionais têm permitido o desenvolvimento dos métodos de simulação, apresentando-se hoje como uma ferramenta de análise de sistemas e processos complexos (Frazzon et al., 2016; Grossmann et al., 2014, 2016).

Nesse contexto, a busca por soluções completas e robustas, capazes de simular cenários reais de forma analítica, é constante. O objetivo é alcançar decisões assertivas e estratégicas partindo da análises de dados reais, de forma a otimizar resultados e obter vantagem competitiva de mercado. Como resultado, há um crescente desenvolvimento de softwares que combinam técnicas de simulação e otimização, aproveitando o alto poder de processamento de dados para fornecer previsões e resultados, mais precisos e abrangentes.

A integração de técnicas de simulação e otimização tem sido amplamente explorada na construção de soluções eficazes para o planejamento de processos produtivos, sendo frequentemente complementares no apoio à tomada de decisões (Ammeri, 2011; Sousa Junior, 2019; Velez e Maravelias, 2013). A simulação permite modelar situações e prever o comportamento futuro com base em diferentes situações, enquanto a otimização encontra a melhor solução, incluindo certas restrições e tipo de plano. Juntas, essas tecnologias fornecem uma base sólida para a criação de soluções projetadas para maximizar a eficiência e reduzir custos em operações complexas. No entanto, as aplicações desta técnica vão além da avaliação numérica. A visualização facilita a compreensão e interpretação rápida de grandes conjuntos de dados, transformando dados complexos em representações gráficas fáceis de entender. Segundo Velez e Maravelias (2013), essa visualização ajuda a identificar padrões e tendências a seguir, o que é importante para apoiar a tomada de decisões no setor logístico.

Módulos de visualização no setor logístico fornecem análises detalhadas de todos os níveis de operações, como desempenho de rotas otimizadas, serviços (envio de trens, caminhões, estoque), transporte de mercadorias, restrições de tempo e trabalho. Além disso, a capacidade de conversão entre diferentes tipos de tabelas e gráficos permite aos usuários explorar dados de diferentes perspectivas, tornando-os mais úteis e proporcionando uma compreensão mais ampla e segura das operações logísticas.

Nesse contexto, objetiva-se com esse relato tecnológico, descrever o processo de desenvolvimento desses módulos de visualização e análise de dados que integram e apoiam uma solução de software de otimização logística ferroviária e multimodal.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, são abordadas bases teóricas que sustentam o desenvolvimento deste relato tecnológico. O objetivo é fornecer uma fundamentação sólida para o estudo, facilitando a compreensão dos conceitos apresentados e oferecendo respaldo às conclusões obtidas.

2.1 Otimização Logística

Para Ballow (1993), o processo logístico compreende o planejamento da movimentação de materiais e informações, com o objetivo final de entregar ao cliente o produto e/ou serviço na qualidade e no tempo desejado, ao menor custo possível. Nesse contexto, a otimização logística é um processo focado na maximização da eficiência da cadeia de suprimentos, contemplando todos os seus passos, desde a constituição ou aquisição da matéria-prima até a entrega final ao cliente. Segundo Christopher (2016), a logística moderna deve ser vista como uma função estratégica, onde a eficiência operacional impacta diretamente na competitividade da empresa e na satisfação do cliente.

Com os avanços tecnológicos e a necessidade constante de maximizar resultados e obter vantagem competitiva, muitas empresas têm recorrido ao uso de software de simulação e otimização logística. De acordo com Banks (2010), os softwares de simulação são ferramentas essenciais para modelar processos logísticos complexos, permitindo que gestores testem diferentes cenários sem interromper as operações reais. Esses softwares podem ser adaptados às necessidades de cada empresa, partindo de premissas e restrições reais, utilizando algoritmos e modelos matemáticos sofisticados.

Esses modelos permitem prever não apenas os resultados de determinadas operações, mas também identificar possíveis falhas e gargalos no processo, que, de outra forma, poderiam passar despercebidos (Law; Kelton, 2000). Além disso, a simulação proporciona uma maior confiança no processo decisório, ao permitir que os gestores explorem diferentes estratégias logísticas antes de implementá-las, garantindo uma abordagem mais assertiva na alocação de recursos e na programação das operações logísticas (Pidd, 2004).

2.2 Softwares de Simulação e Otimização

Os softwares de otimização são ferramentas computacionais desenvolvidas para resolver problemas complexos de otimização, como maximização de eficiência, minimização de custos e alocação ideal de recursos (Bertsimas; Tsitsiklis, 1997). Eles são amplamente utilizados em diversas áreas, incluindo logística, finanças, engenharia e produção, proporcionando soluções baseadas em modelos matemáticos e heurísticas avançadas (NoCEDal; Wright, 2006).

"É muito comum também a associação desse tipo de ferramenta às ferramentas de simulação, que replicam cenários reais para modelos virtuais, visando reproduzir comportamentos físicos de produtos e/ou processos. Essa associação pode ser vantajosa no contexto logístico, devido à alta presença de múltiplas restrições nas cadeias de suprimentos, a possibilidade de adaptar premissas que fazem parte dos processos de otimização e obter resultados mais completos e com maior acurácia" (Frazzon et al., 2016).

Segundo Pires et al. (2020), o uso de big data e análise preditiva tem transformado práticas logísticas, melhorando a eficiência e a tomada de decisão nas operações. O uso de dados em tempo real permite que empresas ajustem rapidamente suas operações em resposta a mudanças na demanda ou no suprimento (Waller; Fawcett, 2013). Ferramentas de análise preditiva são essenciais para prever padrões de demanda, planejar rotas otimizadas e gerenciar cadeias de suprimentos com maior precisão (Ivanov; Sokolov, 2019).

2.3 Módulos de Visualização de Dados e Análise Integrada

Os módulos de visualização de dados têm um papel fundamental no processo de análise e tomada de decisões, especialmente em cenários que envolvem uma vasta quantidade de dados e operações complexas, como na logística. Segundo Tufte (2001), a apresentação visual eficaz de dados permite que os gestores identifiquem padrões, anomalias e tendências de maneira mais rápida e intuitiva, o que é essencial para garantir decisões mais assertivas e bem fundamentadas. No contexto logístico, técnicas como gráficos de séries temporais, mapas de calor (*heatmaps*) e mapas geoespaciais são amplamente aplicadas para representar a complexidade das redes de transporte, níveis de estoque e fluxos de demanda (Few, 2009). Essas representações gráficas facilitam a visualização de dados, permitindo a compreensão

imediate de problemas ou oportunidades que poderiam passar despercebidos em relatórios apenas numéricos.

A aplicação de módulos de visualização integrados a soluções de software de otimização logística é uma tendência cada vez mais comum. Conforme Shmueli (2017), as soluções modernas para a otimização logística frequentemente integram *dashboards* interativos e relatórios em tempo real que oferecem uma visão holística das operações. Esses painéis expositivos e/ou interativos permitem que os gestores acompanhem métricas-chave em tempo real, como o desempenho das rotas, utilização de recursos, estoque e prazos de entrega. Além disso, facilitam a comparação de diferentes cenários operacionais e ajudam na identificação de gargalos e oportunidades de melhoria.

No campo da logística, a capacidade de analisar rapidamente grandes volumes de dados e tomar decisões informadas é essencial para a eficiência e competitividade da empresa. Tecnologias de *Business Intelligence* (BI) e ferramentas personalizadas baseadas em Python, utilizando bibliotecas como Matplotlib, Pandas e Plotly, são amplamente adotadas para a criação de visualizações complexas e dinâmicas, que permitem que dados logísticos sejam compreendidos de forma clara e acessível. Segundo McKinney (2017), a vantagem dessas ferramentas está na possibilidade de personalização das visualizações, adaptando-as às necessidades específicas do negócio e dos tomadores de decisão. Isso assegura que a otimização logística seja eficiente e compreensível, além de ajustável em função das mudanças no ambiente operacional.

O uso dessas tecnologias tem se mostrado essencial para suportar a crescente complexidade das cadeias de suprimentos modernas, que exigem um nível elevado de coordenação e precisão. Como destaca Novaes (2007), a gestão logística envolve uma série de atividades integradas que precisam ser coordenadas de maneira eficiente para otimizar o uso de recursos, reduzir custos e atender às expectativas dos clientes. A integração de módulos de visualização em sistemas de gestão logística permite que essas atividades sejam monitoradas e controladas em tempo real, oferecendo aos gestores uma base sólida para a tomada de decisões estratégicas e operacionais.

Além disso, a utilização de técnicas avançadas de visualização e otimização logística não só melhora a eficiência operacional, mas também ajuda as empresas a lidarem melhor com sua gama de dados e variabilidades no ambiente logístico. Segundo Ballou (2006), a habilidade de reagir rapidamente a mudanças inesperadas no fluxo de materiais ou na demanda de clientes é crucial para manter a competitividade em mercados altamente dinâmicos. Ferramentas de visualização, ao transformar dados complexos em *insights*

acionáveis, fornecem aos gestores a agilidade necessária para realizar ajustes rápidos e proativos, minimizando riscos e otimizando resultados.

3 CONTEXTO INVESTIGADO E SITUAÇÃO PROBLEMA

3.1 A Empresa

A empresa responsável pela idealização e desenvolvimento do software em questão atua no ramo de desenvolvimento de soluções de software, com mais de 15 anos de atuação no mercado, se destaca pela criação de soluções de software personalizadas e eficientes, que geram valor por meio do uso estratégico dos dados. Atuando principalmente nos segmentos de Energia, Siderurgia, Logística, Supply Chain e Saúde, a empresa utiliza tecnologias avançadas como Big Data, Gêmeos Digitais e Inteligência Artificial para otimizar processos e entregar resultados concretos aos seus clientes.

Em um mundo cada vez mais digitalizado, os dados se tornaram o ativo mais valioso para as empresas, se bem utilizados. Eles fornecem informações críticas que, quando analisadas, podem transformar a maneira como as organizações operam. Neste contexto, a empresa desenvolve soluções que aproveitam ao máximo o potencial dos dados, oferecendo aos seus clientes uma visão clara e estratégica para a tomada de decisões. Atualmente a empresa tem seu foco na chamada Indústria 4.0, que se caracteriza principalmente pela ideia central de integração entre o mundo físico e o digital, tornando o processo produtivo mais inteligente, automatizado e interconectado.

Um dos diferenciais da empresa é a personalização das soluções de modelagem e análise estatística para atender às necessidades específicas de cada cliente. O objetivo não é apenas fornecer dados, mas transformá-los em informações estratégicas que favoreçam o processo de decisão e ajudem a alcançar metas de negócios. Cada solução é adaptada para os objetivos gerais e específicos de cada cliente, o que significa que nenhuma solução de software se assemelha completamente a outra, as análises são sempre alinhadas às prioridades do setor em questão e do usuário.

Por exemplo, no setor de Energia, em um contexto em que a eficiência e a sustentabilidade são pontos de atenção constantes, as análises de dados podem otimizar a distribuição de energia, visando sempre minimizar os impactos ambientais e desperdício de matérias primas. Já no setor de Saúde, a análise precisa de dados clínicos pode melhorar a

eficiência operacional dos hospitais, reduzindo tempos de procedimentos, consultas ou diagnósticos, ou otimizando processos, além de melhorar a experiência dos pacientes.

Uma das tecnologias mais inovadoras utilizadas pela empresa é o conceito de gêmeos digitais. Um gêmeo digital é uma representação virtual de um sistema físico ou processo, que permite a simulação, monitoramento e análise de desempenho em tempo real. Essa tecnologia tem se mostrado revolucionária em diversos setores, pois possibilita testar e ajustar operações sem interromper a produção física.

No setor de Siderurgia, por exemplo, os gêmeos digitais permitem simular o desempenho de equipamentos industriais, prevendo pontos de falha ou gargalos de operação antes que eles ocorram. Isso ajuda a reduzir o tempo de inatividade e a melhorar a manutenção preditiva. No campo da Logística, o uso de gêmeos digitais para simular cadeias de suprimentos e rotas de transporte garante uma distribuição mais eficiente e econômica dos insumos e oferece uma visão operacional mais estratégica.

3.2 A Solução

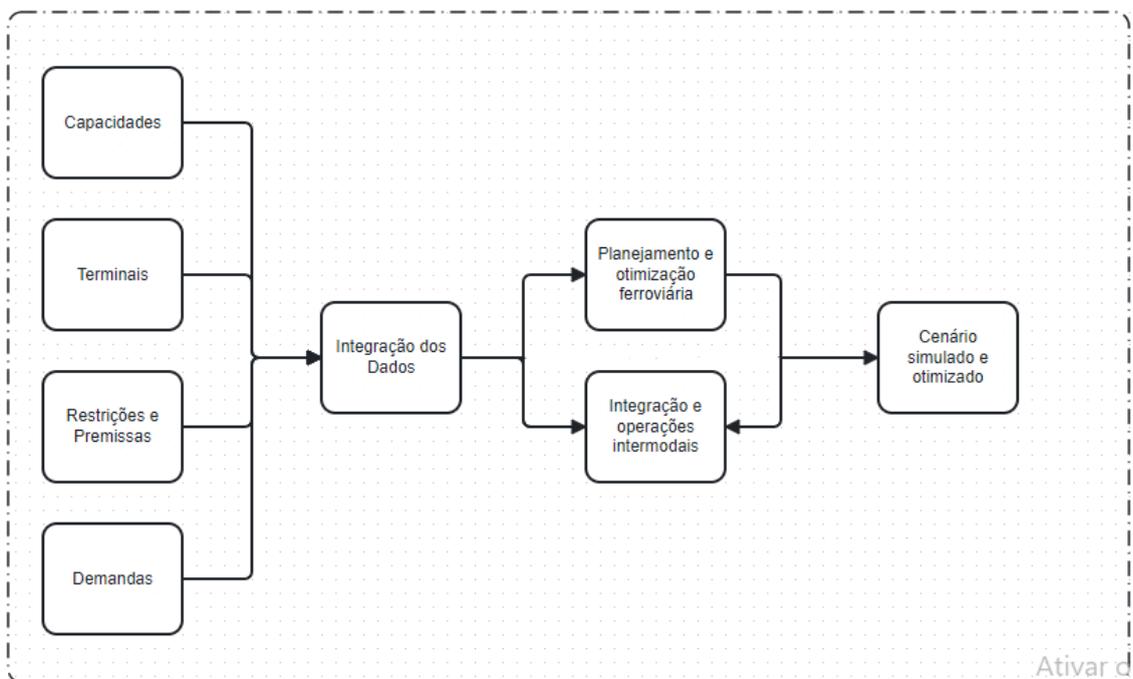
A solução desenvolvida consiste em um software de simulação e otimização logística, criado integralmente pela empresa de desenvolvimento de soluções de software para atender às necessidades específicas de uma empresa de logística multimodal. A solução, que opera em base horária, abrange diversos modais, sendo eles ferroviário, rodoviário, portuário e multimodal, e foi concebido com o objetivo de integrar e otimizar recursos logísticos. Por meio da simulação de cenários de planejamento, a plataforma suporta demandas de longo, médio e curto prazo, oferecendo uma resposta eficiente e alinhada aos objetivos estratégicos do cliente.

O software exige o cadastro de premissas e restrições reais fornecidas pelo cliente, tais como: demandas a serem atendidas, tempos de trânsito entre diferentes pontos, quantidade de trens disponíveis e seus pontos de partida, além da capacidade de recebimento e expedição de cada terminal logístico. Com base nesses dados iniciais, o simulador é capaz de reproduzir todo o processo de transporte de produtos ao longo das malhas ferroviária, rodoviária e aquática, com o objetivo de atender ao máximo possível da demanda e otimizar recursos, respeitando as restrições cadastradas para o cenário.

Todo o processamento de dados é realizado de forma automática. Em várias etapas, o software toma decisões com base em fases de otimização estabelecidas que seguem uma ordem de priorização. As fases são uma ordem de priorização de decisões que definem qual a

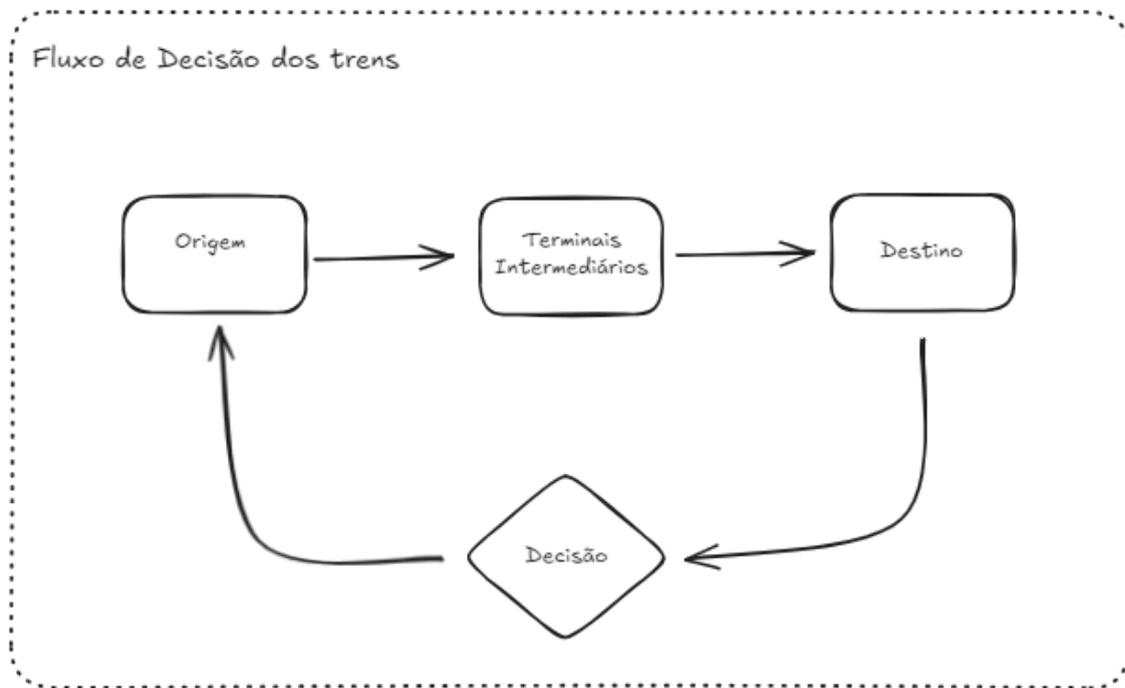
melhor rota que cada trem deve tomar partindo de uma origem e todas as restrições do simulador e cadastros até chegar ao seu destino. Em suma, cada vez que o trem chega em um terminal de destino o simulador deve procurar oportunidades a respeito de qual o novo produto e fluxo que o trem irá transportar. Essa decisão é tomada seguindo duas fases de priorização, a otimização de demanda, priorizando os fluxos que ainda não tiveram sua demanda mínima atendida e a otimização operacional, buscando restrições de estoque, gargalos de fila durante o trajeto e demais restrições que possam impedir o seguimento do trem até seu próximo destino.

Figura 1: Fluxo de funcionamento do software



Fonte: Autor

Figura 2: Fluxo de decisão da próxima demanda a ser atendida pelo trem



Fonte: Autor

3.3 Situação Problema

O software de simulação e otimização desempenha o papel de a partir de dados cadastrais gerar planejamento operacional mensal visando atender a maior demanda possível. Durante a simulação uma ampla variedade de novos dados é gerada, como resultado das decisões tomadas pelo simulador, esses dados são processados e reutilizados interativamente para refinar o planejamento e a execução de estratégias logísticas. A capacidade do sistema de realizar a análise inteligente, o tratamento e o cruzamento desses dados fornece ao cliente o planejamento mensal detalhado do processo operacional da malha ferroviária, rodoviária e portuária. Esses dados incluem a previsão de carga e descarga de navios e caminhões, o posicionamento de locomotivas e vagões, a distribuição da demanda ao longo do mês como resultado das decisões de envio dos modais, que são tomadas com base nas características da malha em cada momento da simulação.

A solução inicial foi projetada para substituir uma prática já consolidada do cliente, em que todo planejamento operacional seria realizado manualmente com o uso de tabelas Excel. Com a implementação do software, essa cultura deve evoluir, permitindo ao cliente explorar novas formas de visualização e análise de dados. Embora as tabelas simplificadas

atendam aos requisitos básicos, o software oferece o potencial de expandir as perspectivas de análise, promovendo uma adaptação gradual e necessária ao planejamento operacional.

Em que pese todas essas virtudes apresentadas, a solução desenvolvida ainda era incipiente em relação à necessidade do cliente de visualizar os resultados apresentados de diversas perceptivas. Em suas versões iniciais, a solução de software já atendia o objetivo geral do cliente, retornando estratégias de posicionamento na malha ferroviária que atendiam e retornava resultados satisfatórios mantendo o formato tabular. No entanto, à medida que o projeto avançava, surgiram novos requisitos e a forma de apresentação dos resultados se tornava um obstáculo, causando atrasos e dificultando a interpretação dos dados gerados.

A adoção de módulos de visualização de dados se tornou fundamental para aprimorar a interpretação das informações, uma vez que permite ao usuário explorar os resultados de maneira interativa e intuitiva. Esses módulos não apenas facilitam o entendimento dos dados, mas também otimizam o processo de entendimento pois permitem que as informações sejam apresentadas de forma compacta e organizada. Com visualizações adequadas, foi possível identificar com mais rapidez e eficiência padrões, tendências e anomalias, proporcionando perspectivas que pudessem orientar decisões estratégicas.

Ao fornecer uma visão abrangente e detalhada dos comportamentos e padrões que ocorrem ao longo da cadeia logística, o sistema capacita o cliente a identificar pontos críticos que podem afetar a eficiência e os custos operacionais. Por exemplo, no monitoramento da utilização e ociosidade de equipamentos de carregamento nos terminais, é possível observar discrepâncias na alocação de recursos. Em um cenário típico, o software pode detectar que o Equipamento A está com 90% de ociosidade, enquanto o Equipamento B opera com apenas 20% de sua capacidade.

Com essa análise baseada na visualização gráfica, o cliente consegue rapidamente identificar a subutilização de recursos, que muitas vezes passa despercebida em operações complexas. Essa visibilidade permite que o gestor tome decisões estratégicas, como desativar temporariamente o Equipamento A, redistribuir o pessoal e concentrar a operação no Equipamento B, otimizando a produtividade e minimizando o desperdício de recursos. Além disso, essa realocação pode resultar em uma economia significativa, não apenas pela eliminação de gastos desnecessários, mas também pela melhora na eficiência operacional.

Outro benefício essencial desse processo de análise através dos módulos de visualização e otimização contínua é a capacidade do software de prever possíveis gargalos antes que eles impactem negativamente a operação. Ao simular cenários com base nos dados

reais e nas variáveis fornecidas pelo cliente, o sistema pode identificar tendências e comportamentos futuros, como o risco de sobrecarga em determinado modal ou a necessidade de manutenção preventiva em um equipamento que apresenta altos índices de utilização.

Além disso, os modelos de visualização do software oferecem uma visão mais abrangente ao cliente, permitindo que ele tenha uma percepção clara sobre as interdependências dentro da cadeia logística. Essa visão facilita o planejamento de ações a médio e longo prazo, como a readequação de investimentos em infraestrutura, a contratação de novos recursos ou a adoção de novas tecnologias que possam aumentar a eficiência operacional.

4 INTERVENÇÃO ADOTADA

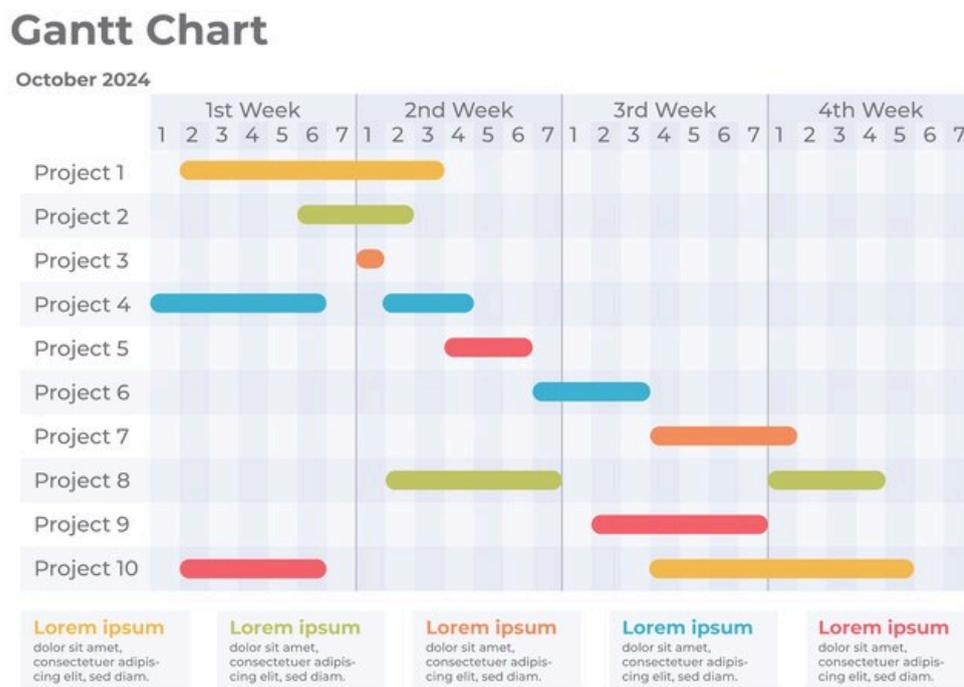
Diante da falta de visualização rápida e clara dos resultados e da dificuldade em identificar anomalias, padrões e extrair dados relevantes utilizando apenas dados numérico e tabelados, para o processo decisório, tornou-se necessário adotar iniciativas que permitam a extração de dados simulados e a implementação de módulos de visualização na ferramenta de software. Esses recursos visam facilitar a análise e a interpretação das informações, oferecendo suporte visual para o usuário. A implementação foi realizada utilizando a linguagem de programação Python, criando estruturas para armazenar dados simulados dentro do horizonte de simulação. Esses dados são processados para gerar estruturas analíticas, cruzando informações e consolidando-as em um arquivo JSON ao final da simulação. O banco de dados armazena essas estruturas, que são recuperadas via API e integradas à interface do software. As estruturas são recuperadas e integradas a interface utilizando as linguagens Java, JavaScript, HTML e CSS, para a geração dos módulos de visualização.

No decorrer do projeto, foi identificada uma dificuldade em visualizar os estados da malha ferroviária durante a simulação com isso, foi apontada a necessidade de um módulo de visualização que exibisse, de maneira clara, o posicionamento dos trens, o tempo de operação e as decisões tomadas pelo simulador para cada trem ao longo da malha ferroviária. Diante dessa demanda, tornou-se necessário o desenvolvimento de um módulo de visualização que oferecesse ao cliente uma representação simples, objetiva e de fácil compreensão. Além disso, esse módulo deveria lidar com uma grande quantidade de informações sem sobrecarregar a

visualização, mas, ao mesmo tempo, fornecer uma visão completa e detalhada do processo geral.

Após uma análise cuidadosa, foi identificado que o gráfico de Gantt, comumente usado no desenvolvimento de projetos para representação de tempo e interdependência de atividades, como o mais adequado para esse contexto. O Gráfico de Gantt exibe uma imagem visual do caminho crítico, este caminho oferece uma rápida visualização das dependências dos processos como um todo, podendo então ajudar na eliminação de gargalos que possam estar impedindo a entrega de uma das etapas (Wingth, 2014).

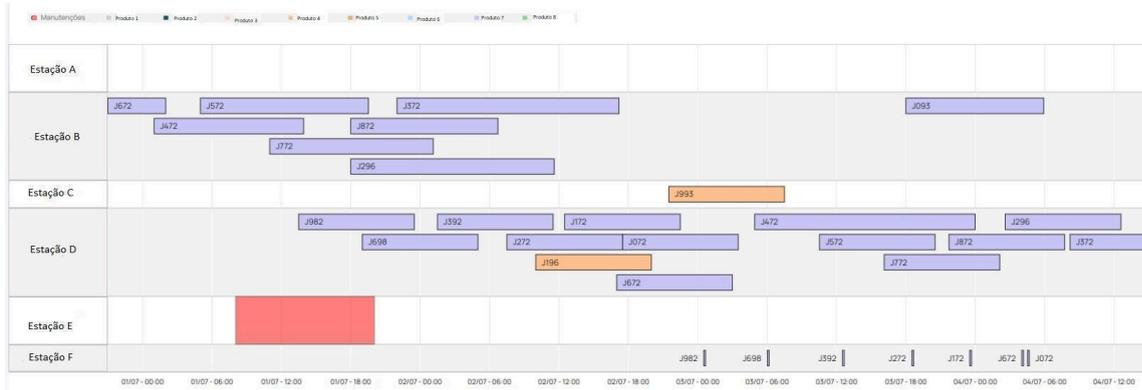
Figura 3: Exemplo de Gráfico de Gantt em Gestão de Projetos



Fonte: Freepik

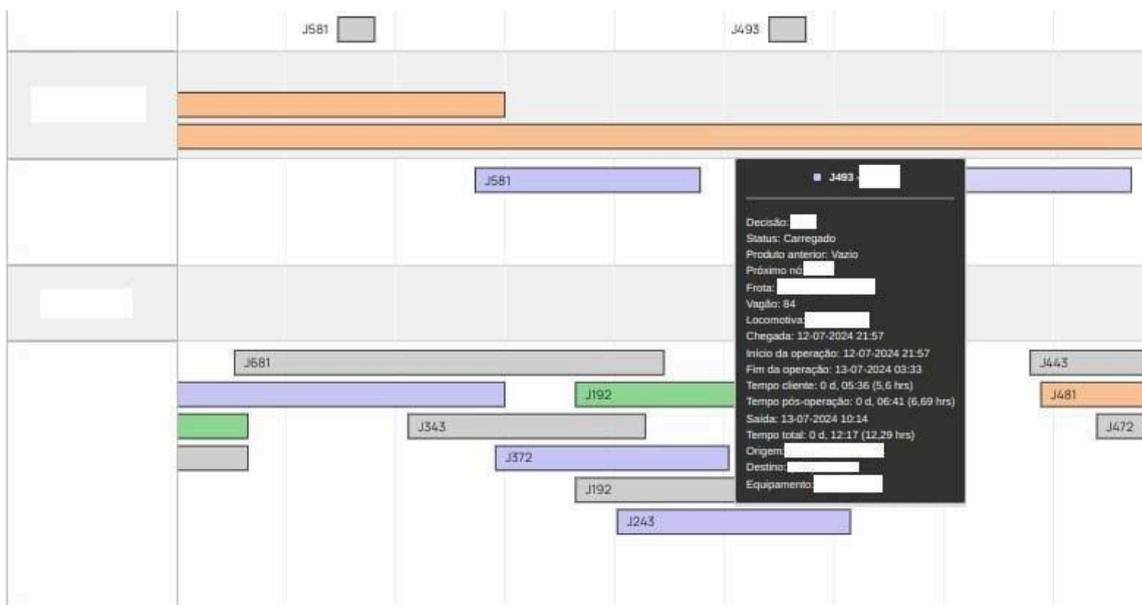
Em função dessas características, foi desenvolvido um gráfico de Gantt em busca da visualização das operações de cada trem ao longo da simulação de forma a facilitar o entendimento do progresso e das interações entre eles, permitindo que o cliente acompanhe cada decisão e etapa da simulação de forma intuitiva e eficiente. Além disso, o uso de *tooltips* com o passar no mouse foi necessário para complementar as informações, evitando uma solução visualmente poluída

Figura 4: Gantt da solução



Fonte: Dados do caso em estudo

Figura 5: Tooltip com as informações de cada trem



Fonte: Dados do caso em estudo

Ademais, foi identificado também a falta de visualização da distribuição dos vagões vazios e carregados, como sendo um recurso essencial para um dos dois tipos de operações de carga e descarga de material via modal ferroviário, a troca de lotes. Na operação logística ferroviária, existem dois principais tipos de manobras relacionadas à carga e descarga de vagões, que variam de acordo com o local de operação. O primeiro tipo é a operação

convencional, onde o trem, ao chegar ao seu destino, descarrega o material dos vagões, realiza o carregamento com um novo material e, em seguida, parte rumo ao próximo destino.

O segundo tipo de operação, consiste no processo de troca de lotes de vagões acoplados a locomotiva. Nesse modelo, o trem parte de sua origem com um lote de vagões carregados, percorre o trajeto até chegar ao destino final. Ao chegar, os vagões são desacoplados da locomotiva para que o processo de descarga ocorra em um local separado. Consecutivamente, verifica-se se existem outros vagões carregados disponíveis parados no pátio aguardando para realizar uma nova operação. Se for identificado um novo lote de vagões prontos para o transporte, a locomotiva os acopla e prossegue para seu próximo destino, sem necessariamente aguardar a descarga do lote anterior.

A disponibilização de um gráfico que permite visualizar os estados de cada origem e destino ao longo da simulação oferece ao cliente uma visão mais detalhada sobre possíveis gargalos nas etapas de carga e descarga, contribuindo para uma gestão mais eficiente dos recursos e evitando atrasos que possam comprometer o fluxo logístico. Assim, a implementação dessa funcionalidade torna-se fundamental para garantir o sucesso das operações ferroviárias, otimizando o uso de ativos e reduzindo desperdícios de tempo e recursos.

Figura 6: Gráfico de distribuição de vagões



Fonte: Dados do caso em estudo

O gráfico de barras, foi escolhido como mais adequado para essa visualização de vagões, favorecendo principalmente a operação da troca de lote, mostrando a entrada e saída diária de vagões, a quantidade de lotes recebidos e de lotes prontos para realizar uma nova operação. Esse módulo de visualização é comumente utilizado para justificar comportamentos evidenciados no gráfico de Gantt, podendo justificar altos tempos de filas sofridas pelos trens devido à falta da quantidade mínima de vagões carregados para formar um novo lote, precisando aguardar a carga dos vagões trazidos da operação anterior.

Em complemento a todo processo operacional, tornou-se necessário também a visão da disponibilidade e ociosidade de cada equipamento em cada origem e destino. Esse módulo seguiu um padrão diferenciado dos demais, utilizando dois tipos gráficos que se complementam, visando oferecer ao usuário uma visão geral de uso dos equipamentos, em porcentagem, e outro modelo para obter a visão completa da utilização do decorrer da simulação. Sua estrutura é composta por três classificações, sendo a ociosidade do equipamento, representada pela cor amarela, a utilização, sendo a cor verde e a manutenção, na cor vermelha. Essa implementação, assim como as já citadas, visa justificar gargalos na operação, trazendo uma visão da carga e descarga dos produtos, podendo justificar tempos de espera entre dois ou mais trens que compartilham o mesmo equipamento, que chegaram antes do término da operação do trem anterior.

Figura 7: Gráficos de utilização dos equipamentos



Fonte: Dados do caso em estudo

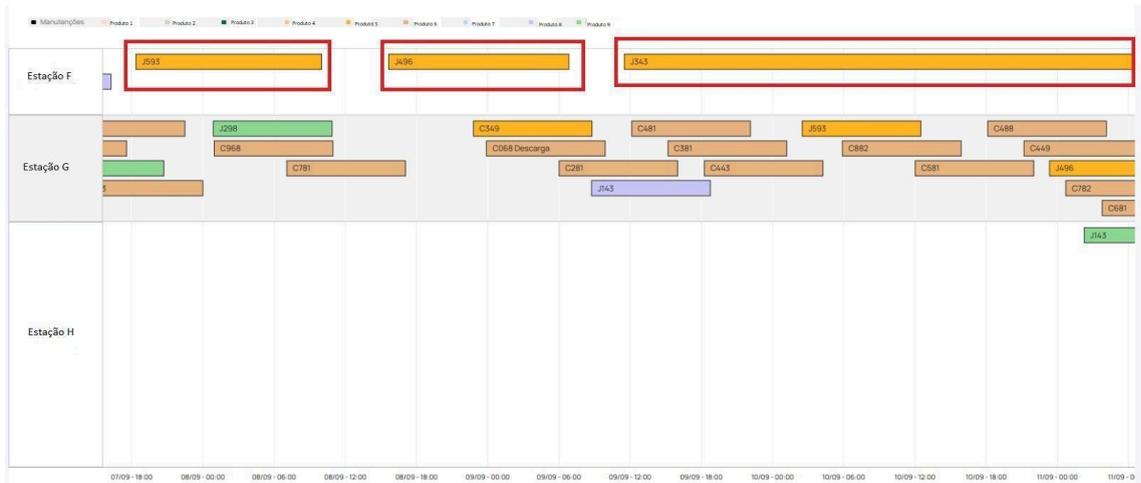
5 RESULTADOS ALCANÇADOS

Com a implementação dos módulos de visualização, a solução de software oferece uma interface mais intuitiva, permitindo ao usuário uma visão clara do resultado simulado, a fim entender o processo previsto a ser realizado pelos trens para atender a demanda dentro do cenário cadastrado. Com essa visibilidade, o usuário pode ajustar suas premissas e simular novamente o cenário quantas vezes forem necessárias até obter um resultado satisfatório. O foco principal está no gráfico de Gantt da ferrovia, que proporciona uma visão tanto geral quanto detalhada do caminho e comportamento dentro dos terminais de cada trem ao longo do tempo de simulação, permitindo avaliar a consistência e eficiência das decisões do simulador, identificar pontos de sobrecarga nos terminais de passagem e possíveis gargalos operacionais.

Como visto nas figuras 4 e 5, o Gantt permite ter uma visão geral mas também recortes do estado de cada hora de simulação, permitindo um comparativo entre terminais. Com o eixo y sendo os terminais e o eixo x, o tempo de simulação hora a hora, é possível também fazer análises entre fluxo que possuem terminais em comum como origem ou destino das demandas. Por exemplo, no caso de duas demandas, uma com origem no terminal A e destino no terminal B, e a segunda com origem no terminal A e destino no terminal C, ambas com o mesmo produto. Em um cenário em que o simulador escolha enviar o trem J492 para a primeira demanda, priorizando o volume maior, e o usuário identifique que, estrategicamente, seria mais adequado atender à segunda demanda devido a ociosidade no equipamento do terminal de destino, identificado através dos gráficos de utilização de equipamento (Figura 7), resultando em uma operação com menor custo de tempo, o simulador permite realizar essa alteração, desde que respeite as restrições cadastradas. Dessa forma, o módulo do gantt possibilita ao usuário análises mais minuciosas e específicas de comportamento ao longo da simulação, permitindo que o usuário possa ajustar o simulador para atender demandas específicas e estratégicas, apoiando o processo decisório.

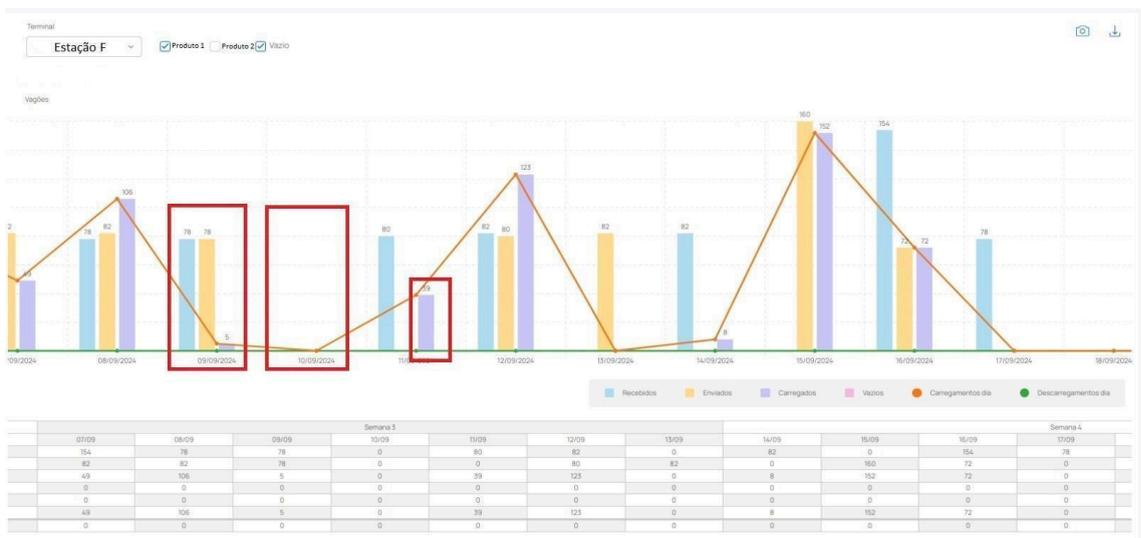
Em complemento ao gráfico de Gantt os módulos gráficos da distribuição de vagões podem ser utilizados como apoiadores nesse processo de análise de resultados, podendo justificar comportamento incomuns ou gargalos nos terminais.

Figura 8: Gantt com trem com fila acima do normal



Fonte: Dados do caso em estudo

Figura 9: Distribuição de vagões da Estação F



Fonte: Dados do caso em estudo

Como exemplo da aplicação dos gráficos de distribuição de vagões, a figura 8 ilustra três trens carregados com o mesmo produto em um único fluxo. Observa-se um gargalo no trem J343, indicado pelo comprimento de sua barra em comparação com os demais. Segundo as premissas cadastrais, o terminal realiza operações de troca de lotes, ou seja, o trem deve deixar os vagões que trouxe, acoplar novos vagões carregados e seguir viagem. No caso exemplificado, o trem chegou com 78 vagões do produto 2 e, para o próximo fluxo, precisará de um lote de 80 vagões do produto 1. O gráfico de distribuição, retratado na figura 9, explica

o tempo adicional de espera: o trem chegou no dia 9 com o produto 2 e aguarda a disponibilidade de um lote do produto 1 para seguir ao destino. No entanto, o pátio destinado ao carregamento do produto 1 estava vazio no momento da operação do trem, sem lotes prontos para acoplar à locomotiva e sem vagões disponíveis para carregamento. Essa situação gerou uma espera extra, pois o trem precisou aguardar a chegada de outro trem com vagões compatíveis com a demanda do produto 1, aguardar o carregamento desses vagões para completar o lote necessário, e, só então, partir do terminal de origem.

Com essa combinação de recursos, o usuário pode realizar simulações iterativas e ajustar premissas operacionais, aprimorando o planejamento para alcançar resultados otimizados e mais alinhados às necessidades da demanda. A implementação, portanto, se configura como um suporte eficaz e benéfico ao processo decisório, promovendo maior eficiência e assertividade na gestão de operações ferroviárias.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com esse relato tecnológico objetivou-se descrever o processo de desenvolvimento de módulos de visualização e análise de dados integrados a uma solução de software para otimização logística ferroviária e multimodal, bem como seu papel como suporte estratégico ao processo decisório. A proposta envolveu a criação de ferramentas visuais que permitissem ao usuário uma melhor percepção de todo processo realizado durante a simulação de cenários reais e a otimização de operações complexas, fornecendo aos tomadores de decisão uma visão clara e estratégica dos processos logísticos.

A conclusão obtida com o desenvolvimento deste projeto destaca o impacto significativo da integração entre simulação, otimização e visualização de dados. A combinação dessas técnicas permitiu uma abordagem mais robusta e assertiva no planejamento e execução do planejamento das operações logísticas ferroviárias. Os módulos de visualização, como os gráficos de Gantt, foram essenciais para facilitar a compreensão do comportamento dos trens dentro da malha ferroviária, fornecendo uma interface completa e intuitiva, que permite ao usuário realizar análises específicas e minuciosas do comportamento de cada trem ao longo da simulação.

A solução criada vai além de uma ferramenta de simulação convencional, oferecendo previsões mais precisas e uma análise abrangente das operações. Ao oferecer uma visão

detalhada das operações, identificando gargalos e otimizando o uso dos recursos disponíveis, foi possível iniciar uma evolução cultural para o cliente, substituindo progressivamente o uso consolidado das planilhas Excel pela adoção desta solução. Embora o processo ainda esteja em andamento, essa nova abordagem tem o potencial de erradicar o uso das planilhas no processo de planejamento logístico da empresa, permitindo a utilização integral da ferramenta em benefício da eficiência operacional e apoio à tomada de decisões estratégicas. Como resultado, o projeto reafirma a importância de integrar tecnologias avançadas na gestão logística, visando não apenas a eficiência operacional, mas também a otimização contínua dos processos.

Dessa forma, o desenvolvimento dos módulos de visualização na solução de software de otimização logística ferroviária e multimodal representa uma contribuição relevante para a área, ao oferecer uma solução tecnológica capaz de transformar a maneira como operações logísticas complexas são planejadas e geridas, com impacto direto na eficiência e na capacidade de adaptação das empresas frente aos desafios do mercado atual.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALLOU, R. H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial. 2. ed. Porto Alegre: **Bookman**, 2006.

BANKS, J.; CARSON, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M. Discrete-event system simulation. 5. ed. Upper Saddle River: **Pearson**, 2010.

BALLOW, C. W. The logistics handbook: a practical guide for the supply chain manager. New York: **Free Press**, 1993.

BERTSIMAS, D.; TSITSIKLIS, J. N. Introduction to linear optimization. Belmont: **Athena Scientific**, 1997.

CHRISTOPHER, M. Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos. 4. ed. São Paulo: **Cengage Learning**, 2016.

FEW, S. Now you see it: simple visualization techniques for quantitative analysis. Oakland: **Analytics Press**, 2009.

FRAZZON, E. M.; HARTMANN, J.; MAKUSCHEWITZ, T.; SCHOLZ-REITER, B. Towards socio-cyber-physical systems in production networks. **Procedia CIRP**, v. 41, p. 502-507, 2016.

GROSSMANN, I. E.; GUILLÉN-GOSÁLBEZ, G.; MITEVA, D.; PISTIKOPOULOS, E. N. Mathematical programming techniques for optimization under uncertainty. **Computers & Chemical Engineering**, v. 91, p. 29-49, 2016.

IVANOV, D.; SOKOLOV, B. The role of big data in logistics and supply chain management. In: Advances in logistics and supply chain management. Cham: **Springer**, 2019. p. 29-45.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. Simulation modeling and analysis. 3. ed. New York: **McGraw-Hill**, 2000.

LINDEROTH, J. T.; WRIGHT, S. J. Decomposition algorithms for stochastic programming on a computational grid. **Computational Optimization and Applications**, v. 24, n. 2-3, p. 207-250, 2003.

MCKINNEY, W. Python para análise de dados: tratamento de dados com pandas, NumPy & Jupyter. 3. ed. São Paulo: **Novatec**, 2023.

NOCEDAL, J.; WRIGHT, S. Numerical optimization. New York: **Springer**, 2006.

NOVAES, A. G. N. Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação. São Paulo: **Elsevier Brasil**, 2007.

PIDD, M. Computer simulation in management science. 5. ed. Chichester: **John Wiley & Sons**, 2004.

PIRES, A. M.; RIBEIRO, P. C.; LOPES, F. C. Big data e análise preditiva: o impacto na logística. **Revista Brasileira de Logística**, v. 20, n. 2, p. 123-145, 2020.

SHMUELI, G. Data mining for business analytics: concepts, techniques, and applications with JMP Pro. Hoboken: **Wiley**, 2017.

TRIGUEIRO DE SOUSA JUNIOR, W.; BARRA MONTEVECHI, J. A.; DE CARVALHO MIRANDA, R.; TEBERGA CAMPOS, A. Discrete simulation-based optimization methods for industrial engineering problems: a systematic literature review. **Computers & Industrial Engineering**, v. 128, p. 526-540, 2019.

TUFTE, E. R. The visual display of quantitative information. Cheshire: **Graphics Press**, 2001.

WALLER, M. A.; FAWCETT, S. E. Data science, predictive analytics, and big data: a revolution that will transform supply chain design and management. **Journal of Business Logistics**, v. 34, n. 2, p. 77-84, 2013.

WINGWIT. **Definição de gráfico de Gantt**. Disponível em:

<http://pt.wingwit.com/Software/spreadsheets/168639.html>. Acesso em: 24 set. 2024.