



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

Curso de Ciência da Computação

Victor José Beltrão Almajano Martinez

**Mathematical Modeling and Simulation for
Optimizing Truck Dispatch in Bulk Unloading
Operations: A Case Study at the Port of Itaqui**

São Luís

2025

Victor José Beltrão Almajano Martinez

Mathematical Modeling and Simulation for Optimizing Truck Dispatch in Bulk Unloading Operations: A Case Study at the Port of Itaqui

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada
ao curso de Ciência da Computação da
Universidade Federal do Maranhão, como
parte dos requisitos necessários para obtenção
do grau de Bacharel em Ciência da
Computação.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Glaubos Nunes Clímaco

São Luís

2025

Victor José Beltrão Almajano Martinez

Mathematical Modeling and Simulation for Optimizing Truck Dispatch in Bulk Unloading Operations: A Case Study at the Port of Itaqui

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada
ao curso de Ciência da Computação da
Universidade Federal do Maranhão, como
parte dos requisitos necessários para obtenção
do grau de Bacharel em Ciência da
Computação.

Trabalho Aprovado em São Luís, 19 de agosto de 2025:

**Prof. Dr. Francisco Glaubos Nunes
Clímaco**
Orientador

Prof. Dr. Anselmo Cardoso de Paiva
Examinador

Prof. Dr. Aristóфанes Corrêa Silva
Examinador

São Luís
2025

Agradecimentos

À minha família, alicerce da minha formação. Aos meus pais, expresso minha mais profunda gratidão pelo apoio incondicional. A certeza de que, independentemente das adversidades encontradas, eu sempre contaria com seu amparo foi um fator determinante ao longo desta trajetória. Estendo meus agradecimentos aos meus tios e primos, cujas conversas construtivas e direcionamentos, oriundos da experiência, foram fundamentais para as minhas decisões. Finalmente, aos meus avós, que, embora não puderam estar presentes para ver a conclusão dessa caminhada, foram verdadeiras inspirações em minha trajetória. Cada conquista é, antes de tudo, uma conquista de vocês!

Ao meu orientador, Prof. Dr. Francisco Glaubos Nunes Clímaco, expresso minha gratidão pela oportunidade, dedicação e pelo conhecimento compartilhado. Sua orientação foi fundamental em cada etapa do desenvolvimento desta pesquisa. Registro também meus agradecimentos aos colegas do Projeto — professores e alunos — por compartilharem desta jornada. As reuniões produtivas para discussão de ideias e o constante apoio mútuo enriqueceram substancialmente este processo.

Manifesto também meus agradecimentos aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Anselmo Cardoso de Paiva e Prof. Dr. Aristófanês Corrêa Silva. Para além de suas valiosas contribuições como avaliadores, sou grato pelo profissionalismo e pela engajadora metodologia com a qual ministram suas aulas, das quais tive a satisfação de participar ativamente, adquirindo valiosos conhecimentos. Agradeço, então, por aceitarem o convite e por dedicarem seu tempo à leitura e avaliação deste trabalho, cujas críticas e sugestões foram essenciais para o aprimoramento desta pesquisa.

Agradeço também a todo o corpo docente do Departamento de Informática, cujo profissionalismo, ensinamentos e compartilhamento de conhecimentos ao longo da minha formação constituíram a base para a realização deste trabalho. Registro um agradecimento especial ao Prof. Dr. Gustavo Silvestre do Amaral Costa, com quem tive a oportunidade de aprofundar a interdisciplinaridade matemática ao longo do curso, por meio da participação em múltiplas disciplinas e de um projeto de iniciação científica. Tais experiências fortaleceram meu formalismo matemático, minha capacidade de abstração e minhas competências em ferramentas de editoração científica, constituindo requisitos base para a realização desta pesquisa.

Aos amigos de turma, que compartilharam semelhante jornada, agradeço pela força e ajuda. Os estudos em grupo, as revisões antes das provas, o envio de materiais e todos esses gestos de colaboração foram de imensa ajuda ao longo da graduação. Semelhantemente, agradeço aos amigos do ensino fundamental e médio, que apesar da distância e do tempo, mantiveram sempre contato com uma palavra amiga. Por fim, agradeço também aos amigos do Truco, da *PETSexta* e do *Coup*, pelos momentos descontraídos, igualmente importantes para uma caminhada saudável e equilibrada.

Estendo também meus sinceros agradecimentos aos colegas do Núcleo de Computação Aplicada (NCA), do Laboratório MODAL, do PET-Computação (PETComp) e do Diretório Acadêmico da Computação (DACOMP), grupos dos quais tive a honra de participar no decorrer da graduação. A jornada foi imensamente enriquecida pela convivência diária, pelas discussões produtivas e pela constante troca de conhecimento. O ambiente de colaboração, o suporte mútuo e as amizades foram fundamentais não somente para o meu crescimento profissional, mas também para o meu desenvolvimento pessoal.

Por fim, manifesto meus sinceros agradecimentos à Universidade Federal do Maranhão (UFMA), pela excelência da estrutura e pelo conhecimento que alicerçaram meu percurso acadêmico. A dedicação do corpo docente, o suporte do corpo técnico-administrativo e a riqueza de seu acervo bibliográfico foram elementos cruciais para a realização deste trabalho. Agradeço, ademais, à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pelo fomento concedido, cujo apoio financeiro foi indispensável para a viabilização e o desenvolvimento desta pesquisa.

"Ex nihilo nihil fit"

Parmênides de Eleia

Resumo

Este artigo aborda a otimização do chamado de caminhões para operações de descarga de granéis no Porto de Itaquí, um polo logístico crítico no Brasil. O processo manual atual leva frequentemente a ineficiências como congestionamento, atrasos e aumento de emissões. Para enfrentar esses desafios, propomos um modelo matemático para chamado responsivo de caminhões, a fim de minimizar os desequilíbrios nas filas, considerando as emissões, e mantendo a eficiência operacional. Um simulador de atividade portuária foi desenvolvido para avaliar o modelo em vários cenários de demanda e oferta, comparando seu desempenho com um algoritmo de referência que replica o comportamento do operador. Os resultados demonstram que o modelo proposto reduz o congestionamento de caminhões na área primária em até 50% sem aumentar os tempos de descarga, oferecendo uma abordagem mais equilibrada e sustentável. Os resultados aprimoram a logística portuária e fornecem uma estrutura para automatizar os processos de chamado de caminhões em operações de carga a granel. Trabalhos futuros envolvem a integração do modelo em aplicações do mundo real e a extensão de suas capacidades para ambientes multiterminais.

Palavras-chave: Otimização Logística, Despacho de Caminhões, Operações de Carga a Granel, Redução de Emissões, Eficiência Portuária.

Abstract

This paper addresses the optimization of truck pulling for bulk unloading operations at the Port of Itaqui, a critical logistics hub in Brazil. The current manual process often leads to inefficiencies such as congestion, delays, and increased emissions. To tackle these challenges, we propose a mathematical model for responsive truck pulling to minimize queue imbalances considering emissions while maintaining operational efficiency. A port activity simulator was developed to evaluate the model under various demand and supply scenarios, comparing its performance against a benchmark algorithm replicating operator behavior. Results demonstrate that the proposed model reduces truck congestion in the primary area by up to 50% without increasing unloading times, offering a more balanced and sustainable approach. The findings enhance port logistics and provide a framework for automating truck dispatch processes in bulk cargo operations. Future work involves integrating the model into real-world applications and extending its capabilities to multi-terminal environments.

Keywords: Logistics Optimization, Truck pulling, Bulk Cargo Operations, Emission Reduction, Port Efficiency.